LOGÍSTICA

ADMINISTRACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO

QUINTA EDICIÓN

INCLUYE CD-ROM

PEARSON Prentice Hall ®

RONALD H. BALLOU

Logística
Administración de la cadena de suministro

Logística Administración de la cadena de suministro

QUINTA EDICIÓN

Ronald H. Ballou

Weatherhead School of Management
Case Western Reserve University

TRADUCCIÓN:
Carlos Mendoza Barraza
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, campus Estado de México
Maestría en Administración de Empresas
Maestría en Alta Dirección, IPADE

María Jesús Herrero Díaz
Traductora profesional
Universidad de Granada, España
Diplomado en Administración de Empresas, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, campus Ciudad de México

REVISIÓN TÉCNICA:
Guillermo Martínez del Campo Varela
Ingeniero Industrial, Universidad Iberoamericana
Maestría en Ciencias en Sistemas Ingenieriles Económicos, Universidad de Stanford, CA, EUA
Profesor emérito en el Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad Iberoamericana

Ángel Fernández Gamero
Maestría en Administración
Coordinador de la Maestría de Ingeniería Industrial en Sistemas de Manufactura, Universidad Iberoamericana

PEARSON Educación ®

México • Argentina • Brasil • Colombia • Costa Rica • Chile • Ecuador
España • Guatemala • Panamá • Perú • Puerto Rico • Uruguay • Venezuela

Datos de catalogación bibliográfica

BALLOU, RONALD H.

Logística. Admiministración de la cadena de suministro. Quinta edición

PEARSON EDUCACIÓN, México, 2004

ISBN: 970-26-0540-7
Área: Universitarios

Formato: 18.5 × 23.5 cm Páginas: 816

Authorized translation from the English language edition, entitled Business logistics/supply management: planning, organizing, and controlling the supply chain 5th. ed., by Ronald H. Ballou, published by Pearson Education, Inc., publishing as PRENTICE HALL, INC., Copyright © 2004. All rights reserved.

ISBN 0-13-066184-8

Traducción autorizada de la edición en idioma inglés, titulada *Business logistics/supply management: planning, organizing, and controlling the supply chain* 5/e de Ronald H. Ballou, publicada por Pearson Education, Inc., publicada como PRENTICE HALL INC., Copyright © 2004. Todos los derechos reservados.

Esta edición en español es la única autorizada.

Edición en español

Editor: Enrique Quintanar Duarte
e-mail: enrique.quintanar@pearsoned.com
Editora de desarrollo: Diana Karen Montaño González
Supervisor de producción: José D. Hernández Garduño

Edición en inglés

Acquisitions Editor: Wendy Craven
Editor-in-Chief: Jeff Shelstad
Assistant Editor: Melissa Pellerano
Media Project Manager: Anthony Palmiotto
Marketing Manager: Michelle O'Brien
Marketing Assistant: Amanda Fisher
Managing Editor (Production): John Roberts
Production Editor: Maureen Wilson
Permissions Supervisor: Suzanne Grappi
Manufacturing Buyer: Michelle Klein
Cover Design: Lisa Boylan
Cover Illustration/Photo: Felix Clouzot/ Getty Images, Inc.—Image Bank
Composition/Full-Service Project Management: Progressive Publishing Alternatives
Printer/Binder: Phoenix

QUINTA EDICIÓN, 2004

D.R. © 2004 por Pearson Educación de México, S.A. de C.V.
Atlacomulco No. 500, 5° piso
Col. Industrial Atoto
53519 Naucalpan de Juárez, Edo. de México
E-mail: editorial.universidades@pearsoned.com

Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana. Reg. Núm. 103.

Prentice Hall es una marca registrada de Pearson Educación de México, S.A. de C.V.

Reservados todos los derechos. Ni la totalidad ni parte de esta publicación pueden reproducirse, registrarse o transmitirse, por un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni por ningún medio, sea electrónico, mecánico, fotoquímico, magnético o electroóptico, por fotocopia, grabación o cualquier otro, sin permiso previo por escrito del editor.

El préstamo, alquiler o cualquier otra forma de cesión de uso de este ejemplar requerirá también la autorización del editor o de sus representantes.

ISBN 970-26-0540-7
Impreso en México. *Printed in Mexico.*

1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 - 07 06 05 04

Para los administradores de logística y de la cadena de suministros de todo el mundo:

Yo he oído de ti... que en ti se halló luz, entendimiento y mayor sabiduría.... Yo, pues, he oído de ti que puedes dar interpretaciones y resolver problemas... serás vestido de púrpura y un collar de oro llevarás en tu cuello...

—DANIEL 5:14

RESUMEN DE CONTENIDO

PREFACIO xxi

PARTE I: INTRODUCCIÓN Y PLANEACIÓN 1

Capítulo 1 Logística de los negocios y la cadena de suministros: Un tema vital 1

Capítulo 2 Estrategia y planeación de la logística y de la cadena de suministros 33

PARTE II: OBJETIVOS DEL SERVICIO AL CLIENTE 62

Capítulo 3 El producto de la logística y de la cadena de suministros 62

Capítulo 4 El servicio al cliente en la logística y la cadena de suministros 91

Capítulo 5 Procesamiento de pedidos y sistemas de información 130

PARTE III: ESTRATEGIA DEL TRANSPORTE 164

Capítulo 6 Fundamentos del transporte 164

Capítulo 7 Decisiones sobre el transporte 219

PARTE IV: ESTRATEGIA DE INVENTARIO 286

Capítulo 8 Pronóstico de los requerimientos de la cadena de suministros 286

Capítulo 9 Decisiones sobre políticas de inventarios 326

Capítulo 10 Decisiones de programación de compras y suministros 424

Capítulo 11 Sistema de almacenamiento y manejo 469

Capítulo 12 Decisiones sobre almacenamiento y manejo 501

PARTE V: ESTRATEGIA DE UBICACIÓN 550

Capítulo 13 Decisiones sobre la ubicación de instalaciones 550

Capítulo 14 Proceso de planeación de la red 618

PARTE VI: ORGANIZACIÓN Y CONTROL 691

Capítulo 15 Organización de la logística y de la cadena de suministros 691

Capítulo 16 Control de la logística y de la cadena de suministros 726

CONTENIDO

PREFACIO xxi

PARTE I: INTRODUCCIÓN Y PLANEACIÓN 1

CAPÍTULO 1 Logística de los negocios y la cadena de suministros: un tema vital 1

Introducción 1
Definición de la logística de los negocios 3
La cadena de suministros 7
Mezcla de actividades 9
Importancia de la logística y de la cadena de suministros 13
Los costos son importantes 13
Las expectativas de la logística del servicio al cliente están incrementando 14
Las líneas de suministros y de distribución están creciendo con mayor complejidad 15
La logística y la cadena de suministros son importantes en la estrategia 17
La logística y la cadena de suministros añaden un valor importante para el cliente 18
Los clientes quieren cada vez más una respuesta rápida y personalizada 19
La logística y la cadena de suministros en áreas que no son manufactureras 20
Industria del servicio 21
Industria militar 22
Medio ambiente 23
La logística de los negocios y la cadena de suministros en la empresa 24
Objetivos de la logística de los negocios y de la cadena de suministros 27
Método para el estudio de la logística y de la cadena de suministros 30
Preguntas 30
Problemas 30
Ejemplos de buenas estrategias de logística y de la cadena de suministros, o de la carencia de éstas 32

CAPÍTULO 2 Estrategia y planeación de la logística y de la cadena de suministros 33

Estrategia corporativa 34
Estrategia de la logística y de la cadena de suministros 35
Planeación de la logística y de la cadena de suministros 38

Niveles de planeación 38
Principales áreas de planeación 39
Conceptualización del problema de planeación de la logística y de la cadena de suministros 41
Cuándo planear 42
Lineamientos para la formulación de la estrategia 44
Selección de la estrategia de canal adecuada 53
Medición del desempeño de la estrategia 57
Flujo de efectivo 57
Ahorros 57
Rendimiento sobre la inversión 57
Comentarios finales 58
Preguntas 58

PARTE II: OBJETIVOS DEL SERVICIO AL CLIENTE 62

CAPÍTULO 3 El producto de la logística y de la cadena de suministros 62
Naturaleza del producto de la logística y de la cadena de suministros 63
Clasificación de los productos 63
El ciclo de vida del producto 65
La curva 80-20 68
Características del producto 72
Relación peso-volumen 72
Relación valor-peso 73
Sustituibilidad 74
Características de riesgo 74
Embalaje del producto 76
Fijación del precio del producto 77
Métodos geográficos de fijación de precios 77
Algunos temas legales 84
Formas de incentivar la fijación de precios 84
Descuentos por cantidad 84
El acuerdo 86
Comentarios finales 86
Preguntas 87

CAPÍTULO 4 El servicio al cliente en la logística y la cadena de suministros 91
Definición de servicio al cliente 92
Elementos del servicio al cliente 93
Importancia relativa de los elementos de servicio 94

Tiempo del ciclo del pedido 98
Ajustes al tiempo del ciclo del pedido 101
Importancia del servicio al cliente en la logística y en la cadena de suministros 102
Efectos del servicio sobre las ventas 102
Efectos del servicio sobre la preferencia del cliente 104
Definición de una relación ventas-servicio 105
Modelado de la relación ventas-servicio 107
Método de dos puntos 107
Experimentos antes-después 108
Método de juego 108
Encuestas al comprador 109
Costo *versus* servicio 109
Determinación de los niveles óptimos de servicio 110
Teoría 110
Prácticas 111
Variabilidad del servicio 114
Función de pérdida 114
Sustitución de información 116
El servicio como una restricción 117
Medición del servicio 118
Contingencias del servicio 119
Interrupciones del sistema 119
Retiro del producto 123
Comentarios finales 126
Preguntas 126

CAPÍTULO 5 Procesamiento de pedidos y sistemas de información 130
Definición del procesamiento del pedido 131
Preparación del pedido 131
Transmisión del pedido 132
Entrada del pedido 133
Surtido del pedido 135
Informe sobre el estado del pedido 136
Ejemplos de procesamiento de pedidos 137
Procesamiento de un pedido industrial 137
Procesamiento de un pedido al menudeo 138
Procesamiento de un pedido del cliente 139
Planeación del pedido basado en la Web 141
Otros factores que afectan el tiempo de procesamiento del pedido 145
Prioridades del procesamiento 145
Procesamiento paralelo versus *secuencial 145*
Precisión en el surtido del pedido 146
Acumulación de pedidos 146

Tamaño del lote 146
Consolidación del embarque 146
Sistema logístico de información 146
Función 146
Operación interna 153
Ejemplos de sistemas de información 156
Sistema de menudeo 156
Inventario manejado por el vendedor/proveedor (VMI, por sus siglas en inglés) 157
Comercio electrónico 159
Sistema de apoyo para la toma de decisiones 160
Comentarios finales 161
Preguntas 161

PARTE III: ESTRATEGIA DEL TRANSPORTE 164

CAPÍTULO 6 Fundamentos del transporte 164
Importancia de un sistema eficaz de transporte 165
Mayor competencia 165
Economías de escala 166
Precios reducidos 166
Opciones de servicio y sus características 167
Precio 167
Tiempo de tránsito y variabilidad 168
Pérdidas y daños 169
Opciones de servicio sencillo 171
Ferrocarril 171
Camión 172
Avión 173
Barco 174
Ductos 175
Servicios intermodales 176
Remolques en plataformas 176
Carga en contenedores estándar 177
Agencias y servicios de envíos pequeños 178
Agentes 178
Servicios de envíos pequeños 179
Transportación controlada por la compañía 180
Transportación internacional 180
Visión general 180
Planta física 181
Agencias y servicios 183
Características del costo de transporte 184
Costos variables y fijos 185
Costos comunes o conjuntos 185
Características del costo por modo 187
Perfiles de tarifas 190
Tarifas relacionadas con el volumen 190

Tarifas relacionadas con la distancia 190
Tarifas relacionadas con la demanda 192
Tarifas de transporte de línea 193
Por producto 194
Por tamaño de envío 201
Por ruta 204
Tarifas diversas 204
Cargos por servicio especial 205
Servicios de transporte de línea especiales 205
Servicios en terminales 209
Cálculo de costos de un transportista privado 211
Documentación 212
Conocimiento de embarque 212
Factura de transporte 213
Reclamaciones de carga 213
Documentación de transporte internacional 214
Exportación 214
Importación 215
Comentarios finales 215
Preguntas 216

CAPÍTULO 7 Decisiones sobre el transporte 219
Selección de los servicios de transporte 220
Equilibrio de costos básicos 220
Consideraciones competitivas 222
Evaluación de los métodos de selección 224
Diseño de rutas para los vehículos 225
Puntos de origen y destino separados y sencillos 225
Puntos múltiples de origen y destino 230
Puntos coincidentes de origen y destino 232
Programación y diseño de rutas de los vehículos 235
Principios para una buena programación y diseño de rutas 236
Métodos de programación y diseño de rutas 240
Secuencia de las rutas 247
Ejecución de métodos de programación y diseño de rutas para los vehículos 248
Programación y diseño de rutas fluviales y marítimas 252
Consolidación del flete 252
Comentarios finales 254
Preguntas 254
Problemas 255
Estudio de caso: Fowler Distributing Company 267
Estudio de caso: MetroHealth Medical Center 270
Estudio de caso: Orion Foods, Inc. 276
Estudio de caso: R&T Wholesalers 280

PARTE IV: ESTRATEGIA DE INVENTARIO 286

CAPÍTULO 8 Pronóstico de los requerimientos de la cadena de suministros 286

Naturaleza de los pronósticos 287
Demanda espacial versus *demanda temporal* 287
Demanda irregular versus *demanda regular* 288
Demanda derivada versus *demanda independiente* 288

Métodos de pronóstico 291
Métodos cualitativos 291
Métodos de proyección histórica 291
Métodos causales 296

Técnicas útiles para los responsables de la logística 296
Nivelación o ajuste exponencial 297
Descomposición clásica de series de tiempo 305
Análisis de regresión múltiple 309

Problemas especiales de predicción para los responsables de la logística 310
Arranque 310
Demanda irregular 310
Pronóstico regional 311
Error de pronóstico 311

Pronósticos de colaboración 314

Flexibilidad y rápida respuesta: una alternativa para el pronóstico 316

Comentarios finales 317

Preguntas 317

Estudio de caso: World Oil 323

CAPÍTULO 9 Decisiones sobre políticas de inventarios 326

Evaluación de los inventarios 328
Argumentos a favor de los inventarios 328
Argumentos en contra de los inventarios 330

Tipos de inventarios 330

Clasificación de los problemas de manejo de inventarios 331
Naturaleza de la demanda 332
Filosofía del manejo 333
Grado de agregación del producto 334
Inventarios de multinivel o multiescalón 334
Inventarios virtuales 335

Objetivos del inventario 335
Disponibilidad del producto 336
Costos pertinentes 337

Control de inventarios por incrementos (*push*) 340

Control básico de inventarios por demanda (*pull*) 342
Pedido único 342
Pedidos repetitivos 344

Control avanzado de inventarios por demanda (*pull*) 348
Modelo del punto de reorden con demanda incierta 349
Método del punto de reorden con costos conocidos por falta de existencias 353
Método del punto de reorden con tiempos de demanda y de entrega inciertos 355
Modelo de revisión periódica con demanda incierta 357
Métodos prácticos de control de inventarios de demanda 363
Inventarios en tránsito 374
Control agregado de inventarios 376
Control de inventarios determinado por la oferta 384
Inventarios virtuales 385
Comentarios finales 389
Glosario de términos 389
Preguntas 390
Problemas 391
Estudio de caso: Complete Hardware Supply, Inc. 403
Estudio de caso: American Lighting Products 405
Estudio de caso: Cruz Roja Americana: Blood Service 412

CAPÍTULO 10 Decisiones de programación de compras y de suministros 424
Coordinación en la cadena de suministros 425
Programación de los suministros 427
Programación de los suministros justo a tiempo 428
Programación de la distribución justo a tiempo 442
Compras 446
Importancia del proceso de compras 447
Cantidades y momento del pedido 450
Fuente de suministro 458
Términos de venta y manejo del canal 461
Comentarios finales 462
Preguntas 462
Problemas 463
Estudio de caso: Industrial Distributors, Inc. 468

CAPÍTULO 11 Sistema de almacenamiento y manejo 469
Necesidad de un sistema de almacenamiento 470
Razones para el almacenamiento 470
Reducción de los costos de producción-transportación 470
Coordinación de suministro y demanda 471
Necesidades de producción 472
Consideraciones de marketing 472
Funciones del sistema de almacenamiento 472
Funciones del almacenamiento 472
Funciones del manejo de materiales 477
Alternativas de almacenamiento 479
Propiedad del espacio 479

Espacio rentado 479
Espacio arrendado 485
Almacenamiento en tránsito 485
Consideraciones del manejo de materiales 486
Agrupamiento de la carga 486
Distribución del espacio 487
Elección del equipo de almacenamiento 490
Elección del equipo de movimiento 490
Costos y tarifas del sistema de almacenamiento 493
Almacenamiento público 493
Almacenamiento arrendado, manejo manual 495
Almacenamiento privado, manejo de tarimas y de carretilla elevadora/montacargas 495
Almacenamiento privado, manejo automatizado 495
Almacenamiento virtual 496
Comentarios finales 499
Preguntas 499

CAPÍTULO 12 Decisiones sobre almacenamiento y manejo 501
Selección del sitio 502
Planeación para diseño y operación 503
Dimensionamiento de la instalación 503
Selección del tipo de espacio: consideraciones financieras 509
Configuración de la instalación 513
Distribución del espacio 516
Diseño de la dársena o andén 520
Diseño del sistema de manejo de materiales 522
Selección del sistema de manejo de materiales 523
Reemplazo de equipo 527
Decisiones sobre la disposición de productos 528
Operaciones de recolección de pedidos 541
Manejo de pedidos 541
Distribución intercalada 543
Establecimiento de estándares 543
Comentarios finales 544
Preguntas 544
Apéndice: Suplemento técnico 549

PARTE V: ESTRATEGIA DE UBICACIÓN 550

CAPÍTULO 13 Decisiones sobre la ubicación de instalaciones 550
Clasificación de los problemas de ubicación 551
Fuerza impulsora 551
Número de instalaciones 551
Lo discreto de las opciones 551
Grado de acumulación de datos 552
Horizonte de tiempo 552

Perspectiva histórica de la ubicación 552
Curvas de renta-oferta 553
Clasificación de las industrias según Weber 553
Tarifas de transportación graduales de Hoover 554
Ubicación de instalación sencilla 555
Ampliaciones al modelo de ubicación de una sola instalación 560
Valoración de la ubicación de una sola instalación 561
Ubicación de múltiples instalaciones 562
Métodos exactos 563
Métodos de simulación 569
Métodos heurísticos 573
Valoración de los métodos de ubicación de instalaciones múltiples 581
Ubicación dinámica de un almacén 582
Ubicación para venta al menudeo y para servicio 587
Lista de verificación ponderada 587
Modelo de interacción espacial 589
Otros métodos 591
Otros problemas de ubicación 595
Concentrador y periferia 595
Instalaciones dañinas 595
Microubicación 595
Comentarios finales 596
Preguntas 596
Problemas 597
Estudio de caso: Superior Medical Equipment Company 607
Estudio de caso: Departamento de licencias para choferes y automovilistas de Ohio 609
Estudio de caso: Cervecería Southern 612
Suplemento técnico 616

CAPÍTULO 14 Proceso de planeación de la red 618
El problema de la configuración de la red 619
Datos para planeación de la red 621
Lista de verificación de datos 621
Fuentes de información 622
Codificación de la información 624
Conversión de datos en información 628
Falta de información 643
Las herramientas para el análisis 644
Opciones de modelación 644
Sistemas de apoyo a la toma de decisiones 650
Realización del análisis 651
Auditoría de los niveles de servicio al cliente 652
Organización del estudio 653
Evaluación por comparación (benchmarking) 655
Configuración de la red 656

Diseño del canal 662
Planeación integrada de la cadena de suministros 668
Estudio de un caso de ubicación 669
Descripción del problema 669
Manejo del tamaño del problema 669
El análisis 671
Informe de los resultados financieros a la dirección 671
Conclusión 673
Comentarios finales 673
Preguntas 674
Estudio de caso: Usemore Soap Company: Estudio de un caso de ubicación de almacén 677
Estudio de caso: Essen USA 687

PARTE VI: ORGANIZACIÓN Y CONTROL 691

CAPÍTULO 15 Organización de la logística y de la cadena de suministros 691
Esfuerzo de organización de la logística y de la cadena de suministros 692
Necesidad de una estructura en la organización 692
Desarrollo organizacional 696
Opciones organizacionales 697
La organización informal 698
La organización semiformal 699
La organización formal 701
Orientación organizacional 704
La estrategia del proceso 704
La estrategia del mercado 704
La estrategia de la información 704
Posicionamiento organizacional 705
Descentralización versus *centralización* 705
Personal asesor versus *de línea* 706
Compañías grandes versus *pequeña* 707
Dirección interfuncional 708
Dirección interorganizacional 709
La superorganización 710
Manejo del conflicto 712
Alianzas y asociaciones 716
Comentarios finales 724
Preguntas 725

CAPÍTULO 16 Control de la logística y de la cadena de suministros 726
Estructura del proceso de control 727
Un modelo de control de la logística y de la cadena de suministros 727
Tipos de sistemas de control 730

Detalles de un sistema de control 733
Tolerancia al error 734
Respuesta 734
El control en la práctica 736
Presupuestos 736
Objetivos de servicio 736
Concepto de centro de utilidades 736
Sistemas de apoyo a la toma de decisiones 737
Información de control, medición e interpretación 738
Auditorías 738
Informes regulares 744
Acción correctora 751
Ajustes menores 751
Replaneación mayor 751
Planes de contingencia 752
Modelo de referencia de operaciones de la cadena de suministros (ROCS) 752
Enlaces de control para inteligencia artificial 754
Reconocimiento de patrones 755
Patrones de desempeño 757
Cursos de acción 757
Comentarios finales 758
Preguntas 759

APÉNDICES

Apéndice A Áreas bajo la distribución normal estandarizada 761
Apéndice B Integrales normales unitarias de pérdida 763

BIBLIOGRAFÍA SELECCIONADA 766

Índice de autores 771
Índice analítico 775

Prefacio

Ningún libro que no sea mejorado por las continuas lecturas merece ser leído.

—Thomas Carlyle

Este libro trata del tema vital de la logística del negocio y de la cadena de suministros: un área de la administración que se ha observado absorbe entre un 60% y un 80% de cada dólar que vende una empresa y que puede ser esencial para su estrategia competitiva y la generación de ingresos. Esta área de la administración ha sido descrita con muchos nombres, incluyendo distribución física, administración de materiales, administración de la transportación, logística y, ahora, administración de la cadena de suministros. Este tema del negocio puede incluir todas o algunas de las siguientes actividades: transportación, mantenimiento de inventarios, procesamiento de pedidos, compras, almacenaje, manejo de materiales, embalaje, estándares de servicio al cliente y producción.

Este libro se enfoca en la planeación, organización y control de estas actividades: elementos clave para obtener el éxito en la administración de cualquier organización. Se pone un énfasis especial en la planeación estratégica y la toma de decisiones, considerándolas como, quizás, las partes más importantes del proceso de administración. La misión de este esfuerzo administrativo es fijar el nivel de las actividades logísticas a fin de hacer productos y servicios que estén disponibles para los clientes en el momento, el lugar y las condiciones y las formas deseadas, de la manera más ventajosa o efectiva en costos.

Dado que las actividades logísticas siempre han sido vitales para las compañías y las organizaciones, el campo de la administración de la logística y de la cadena de suministros representa una síntesis de muchos conceptos, principios y métodos, desde las áreas más tradicionales de marketing (mercadeo), producción, contabilidad, compras y transportación, hasta las disciplinas de las matemáticas aplicadas, comportamiento de la organización y economía. Este libro intenta unificarlas todas en un cuerpo lógico de pensamiento que pueda llevar a la administración efectiva de la cadena de suministros.

Al igual que en cualquier otro campo de la administración, con frecuencia existen términos que cambian para englobar los métodos y conceptos de la logística del negocio y de la cadena de suministros. Se ha hecho un intento de no seguir la prensa popular y la moda, procurando presentar las ideas, principios y técnicas que son fundamentales para la buena práctica de la logística del negocio, en este momento y en un futuro próximo. Con este espíritu, esta quinta edición se organiza alrededor de dos motivos. Primero, las actividades básicas de la administración (es decir, planeación, organización y control) proporcionan el

tema estructural del libro. Segundo, en el núcleo de una buena planeación de la logística y de la toma de decisiones se encuentra un triángulo de estrategias vinculadas a la transportación, los inventarios y la localización. Este triángulo se enfatiza a lo largo de todo el texto.

Se ha notado que existen algunas tendencias que afectan el alcance y la práctica de la logística del negocio y de la cadena de suministros. Dichas tendencias se han integrado al cuerpo del texto para ilustrar la aplicación de las ideas fundamentales que se presentan. Primero, se hace énfasis en la logística y la cadena de suministros en un escenario mundial con el fin de reflejar la creciente internacionalización y globalización del negocio en general. Segundo, se enfatiza el cambio que están dando los países industrializados hacia economías más orientadas al servicio, mostrando cómo los conceptos de la logística y sus principios son igualmente aplicables, tanto en empresas de servicios como en empresas de productos. Tercero, se presta atención a la administración integrada de las actividades de la cadena de suministros, así como a la administración de estas actividades entre las otras áreas funcionales del negocio, y a través de múltiples empresas. Cuarto, se dan muchos ejemplos prácticos para mostrar la aplicabilidad del material. Quinto, se proporciona un software como ayuda para la resolución de los problemas de logística y de la cadena de suministros, reflejando el creciente uso de la tecnología informática en la toma de decisiones administrativas.

Con los años, ha habido tantas personas y compañías que han contribuido a las ideas englobadas en esta quinta edición, que la impresión de una lista de agradecimientos sería demasiado extensa. Sin embargo, a todos aquellos estudiantes y profesores de todo el mundo que estuvieron dispuestos a comentar las ediciones pasadas, a todos aquellos hombres de negocios que estuvieron dispuestos a probar las ideas que se expresaron, y a todos aquellos que las alabaron o criticaron, a todos ellos... mi más sincero agradecimiento. Una nota especial de gratitud es para mi esposa, Carolyn, por su ayuda editorial y su aliento durante esta revisión. Considerando toda esta ayuda, cualquier falla o error que quede debe ser mío.

R. H. BALLOU
Escuela de Administración de Weatherhead
Cleveland, Ohio

Logística
Administración de la cadena de suministro

Capítulo 1

Logística de los negocios y la cadena de suministros: un tema vital

> *La distribución física simplemente es otra forma de decir "todo el proceso del negocio".*[1]
>
> —PETER DRUCKER, 1969

INTRODUCCIÓN

Tan remotamente como lo registra la historia, los bienes que las personas querían no se producían en el lugar donde querían que se consumieran, o no eran accesibles cuando la gente los quería consumir. La comida y otras mercancías útiles o de conveniencia estaban ampliamente dispersas y sólo disponibles en abundancia en ciertas épocas del año. Los antiguos podían consumir los bienes en su ubicación inmediata o moverlos a un lugar preferido, almacenándolos para usarlos más tarde. Sin embargo, como todavía no existían transportes y sistemas de almacenamiento bien desarrollados, el movimiento de los bienes estaba limitado a lo que un individuo pudiera mover personalmente, y el almacenamiento de las mercancías perecederas era posible sólo por un breve espacio de tiempo. El sistema limitado de movimiento-almacenamiento por lo general obligaba a las personas a vivir cerca de las fuentes de producción y a consumir más bien un rango estrecho de bienes.

Incluso hoy en día, en algunas zonas del mundo, el consumo y la producción tienen lugar sólo dentro de una región geográfica muy limitada. Todavía pueden observarse sorprendentes ejemplos en las naciones en vías de desarrollo de Asia, América del Sur, Australia y África, donde parte de la población vive en aldeas pequeñas y autosuficientes, y la mayoría de los bienes que necesitan los residentes se producen o se adquieren en las cercanías inmediatas. Se importan pocos

[1] Peter F. Drucker, "Physical Distribution: The Frontier of Modern Management", en Donald J. Bowersox, Bernard J. LaLonde y Edward Smykay (eds.), *Readings in Physical Distribution Management* (Nueva York: Macmillan, 1969), pág. 4.

bienes de otras zonas. Por lo tanto, la eficiencia de la producción y el estándar económico de vida por lo general son bajos. En este tipo de economías, un sistema de logística bien desarrollado y económico alentaría el intercambio de bienes con otras zonas de producción del país, o incluso del mundo.

Ejemplo

Supongamos que los consumidores de Estados Unidos y de Corea del Sur compran reproductores de DVD y software de computadoras. Al año siguiente, más o menos el mismo número de consumidores comprará un programa de procesamiento de textos y un aparato de televisión. A causa de las diferencias en los costos de mano de obra locales, las tarifas, el transporte y la calidad del producto, el precio efectivo para los consumidores diferirá, según se muestra en la tabla 1-1. Un consumidor de Corea del Sur y uno de Estados Unidos (en este caso, la economía de ambos países), deberían pagar un total de $1,450.00 para satisfacer sus necesidades.

Ahora bien, si cada economía comerciara con la otra aquellos bienes con los cuales tiene una ventaja de costos, tanto a los consumidores como a sus economías les iría mejor. Corea del Sur tiene bajos costos de mano de obra para hacer reproductores de DVD, en tanto que Estados Unidos tiene la ventaja de producir software de bajo costo y alta calidad. Si se tiene la posibilidad de disponer de un transporte económico y seguro, existe ventaja económica al especializarse en el producto que pueda realizarse de la manera más barata y comprar el otro producto al otro país. Con costos de transporte razonables, Corea del Sur puede colocar reproductores de DVD en Estados Unidos a un precio inferior al de los producidos y transportados localmente. Y a la inversa, Estados Unidos tiene la ventaja de los costos de diseño y producción de software, y mediante un cargo razonable de transporte puede colocar dicho software en Corea del Sur a un precio más bajo de lo que se dispone localmente. En la tabla 1-2 se puede ver el estado económico una vez revisado. Los consumidores de ambos países ahorrarían $1,450 – 1,200 = $250. Un transporte costoso impediría a los países comerciar unos con otros y obtener ventajas económicas comparativas, ya que el precio en tierra de los productos importados sería más alto que el de los disponibles localmente.

Con el mejoramiento de los sistemas de logística, el consumo y la producción comenzaron a separarse geográficamente. Las regiones se especializaron en aquellas mercancías útiles o de conveniencia que podían producirse con más eficacia. El exceso de producción pudo transportarse económicamente a otras zonas de producción (o de consumo),

Tabla 1-1
Precios al consumidor al comprar sólo productos producidos localmente

Consumidor en	Reproductor de DVD	Software de procesamiento de textos	Total
Corea del Sur	$250.00	$500.00	$ 750.00
Estados Unidos	400.00	300.00	700.00
Las economías			$1,450.00

Tabla 1-2
Beneficios de comerciar productos cuando el transporte es económico

Consumidor en	Reproductor de DVD	Software de procesamiento de textos	Total
Corea del Sur	$250.00	$350.00[a]	$ 600.00
Estados Unidos	300.00[b]	300.00	600.00
Las economías			$1,200.00

[a] Importaciones desde Estados Unidos
[b] Importaciones desde Corea del Sur

y los bienes necesarios que no se producían localmente, se importaban. Este proceso de intercambio cumple con el *principio de la ventaja comparativa*.

Cuando se aplica este mismo principio a los mercados mundiales, ayuda a explicar el alto nivel de comercio internacional que tiene lugar hoy en día. Los sistemas de logística eficientes permiten a los negocios del mundo tomar ventaja del hecho de que las tierras y las personas que las habitan no son igualmente productivas. La logística es la esencia del comercio. Contribuye a aumentar el estándar económico de vida de todos nosotros.

Para la empresa individual que opera en una economía de alto nivel es vital la buena dirección de las actividades de logística. Los mercados a menudo se encuentran en una esfera de acción nacional o internacional, en tanto que la producción puede estar concentrada en relativamente pocos puntos. Las actividades de logística proporcionan el puente entre las ubicaciones de producción y las de mercado, separadas por el tiempo y la distancia. La dirección eficaz de estas actividades es el tema principal de este libro.

Definición de la logística de los negocios

La logística de los negocios es un campo relativamente nuevo del estudio integrado de la gerencia, si lo comparamos con los tradicionales campos de las finanzas, el marketing y la producción. Como mencionamos anteriormente, los individuos han llevado a cabo actividades de logística durante muchos años. Las empresas también se han ocupado continuamente de las actividades de movimiento y almacenamiento (transporte-inventario). La novedad de este campo estriba en el concepto de dirección *coordinada* de las actividades relacionadas, en vez de la práctica histórica de manejarlas de manera separada, además del concepto de que la logística añade valor a los productos o servicios esenciales para la satisfacción del cliente y para las ventas. Aunque la dirección coordinada de la logística no se había practicado de manera general sino hasta hace poco tiempo, la idea se remonta al menos a 1844. En los escritos del ingeniero francés Jules Dupuit, la idea de comerciar un costo por otro (costos de transporte por costos de inventario) era evidente en la selección entre transporte terrestre y acuático:

> El hecho es que el transporte por carretera, más rápido, más confiable y menos sujeto a pérdidas o daños, tiene la ventaja a la que los hombres de negocios fre-

> cuentemente atribuyen un valor considerable. Sin embargo, bien pudiera ser que el ahorro de 0.87 francos anime al mercader a usar el medio acuático; podría adquirir almacenes e incrementar su capital flotante (o circulante) para tener a mano un suministro suficiente de los bienes y protegerse de la lentitud y de las irregularidades de este medio, y si todo lo mencionado le supone el ahorro de 0.87 francos en transporte, le da ventaja de unos pocos céntimos, por lo cual se decidirá a favor de la nueva ruta. . .[2]

El primer libro de texto en sugerir los beneficios de la dirección coordinada de la logística apareció alrededor de 1961,[3] en parte explicando por qué todavía está surgiendo una definición aceptada de manera general de la logística de los negocios. Por lo tanto, vale la pena explorar algunas definiciones para el propósito y contenido de este tema.

La definición del diccionario para el término *logística* es la siguiente:

> Rama de la ciencia militar relacionada con procurar, mantener y transportar material, personal e instalaciones.[4]

Esta definición pone a la logística en un contexto militar. Dado que los objetivos y las actividades empresariales difieren de las militares, esta definición no capta la esencia de la gerencia o dirección de la logística de los negocios. Una mejor representación de este campo puede reflejarse en la definición promulgada por el Consejo de Dirección Logística (CLM, por sus siglas en inglés), organización profesional de gerentes de logística, docentes y profesionales que se formó en 1962 con el propósito de continuar la educación y fomentar el intercambio de ideas. Su definición es la siguiente:

> La logística es la parte del proceso de la cadena de suministros que planea, lleva a cabo y controla el flujo y almacenamiento eficientes y efectivos de bienes y servicios, así como de la información relacionada, desde el punto de origen hasta el punto de consumo, con el fin de satisfacer los requerimientos de los clientes.[5]

Esta es una definición excelente, ya que transmite la idea de que los flujos del producto tienen que ser manejados desde el punto donde se encuentran como materias primas hasta el punto donde finalmente son descartados. En ésta, la logística también se ocupa del flujo de los servicios, así como de los bienes físicos, un área de crecientes oportunidades de mejora. También sugiere que la logística es un *proceso*, es decir, que incluye todas las actividades que tienen un impacto en hacer que los bienes y servicios estén disponibles para los clientes cuándo y dónde deseen adquirirlos. Sin embargo, la definición implica que la logística es una parte del proceso de la cadena de suministros, no todo el proceso. Por eso, ¿qué es el proceso de la cadena de suministros o, dicho en forma más popular, el manejo de la cadena de suministros?

La *administración de la cadena de suministros* (SCM, por sus siglas en inglés) es un término que ha surgido en los últimos años y que encierra la esencia de la logística integrada; incluso, va más allá de eso. El manejo de la cadena de suministros enfatiza las interaccio-

---

[2] Jules Dupuit, "On the Measurement of the Utility of Public Works", reimpreso en *International Economic Papers*, Núm. 2, traducido del francés por R. H. Barback (Londres: Macmillan and Co., Ltd., 1952), pág. 100.
[3] Edward W. Smykay, Donald J. Bowersox y Frank H. Mossman, *Physical Distribution Management: Logistics Problems of the Firm* (Nueva York: Macmillan, 1961).
[4] *Webster's New Encyclopedic Dictionary* (Nueva York: Black Dog & Leventhal Publishers, 1993), pág. 590.
[5] De las normas del *Consejo de la Dirección Logística*, a través de la página Web del CLM http://www.clm1.org.

nes de la logística que tienen lugar *entre* las funciones de marketing, logística y producción en una empresa, y las interacciones que se llevan a cabo entre empresas independientes legalmente dentro del canal de flujo del producto. Las oportunidades para mejorar el costo o el servicio al cliente se alcanzan mediante la *coordinación* y la *colaboración* entre los miembros de los canales de flujo, donde tal vez algunas actividades esenciales de la cadena de suministros no estén bajo control directo del gerente de logística. Aunque términos usados en definiciones anteriores, como distribución física, manejo de materiales, logística industrial, dirección de canales de flujo e incluso crematística se utilizan para describir la logística, han promovido este amplio alcance de la logística, ha habido pocos intentos para llevar la logística más allá de las propias fronteras empresariales de una compañía, o incluso más allá de su propia función logística interna. Hoy en día, las empresas al menudeo están logrando éxito al compartir información con sus proveedores, los cuales, a cambio, están de acuerdo en mantener y administrar los inventarios en los anaqueles de los minoristas. Los inventarios de los canales de flujo y de los productos agotados son menores. Las empresas de manufactura que operan bajo un programa de producción a tiempo mantienen relaciones con los proveedores para beneficio de ambas compañías mediante la reducción de inventarios. Las definiciones de cadena de suministros y de dirección de la cadena de suministros que reflejan este alcance más amplio son las siguientes:

> La *administración de la adena de suministros* (SC, por sus siglas en inglés) abarca todas las actividades relacionadas con el flujo y transformación de bienes, desde la etapa de materia prima (extracción) hasta el usuario final, así como los flujos de información relacionados. Los materiales y la información fluyen en sentido ascendente y descendente en la cadena de suministros.
>
> La *administración de la cadena de suministros* (SCM) es la integración de estas actividades mediante mejoramiento de las relaciones de la cadena de suministros para alcanzar una ventaja competitiva sustentable.[6]

Después de un estudio cuidadoso de las diversas definiciones existentes, Mentzer y otros proponen la definición más amplia y general que sigue:

> La administración de la cadena de suministros se define como la coordinación sistemática y estratégica de las funciones tradicionales del negocio y de las tácticas a través de estas funciones empresariales dentro de una compañía en particular, y a través de las empresas que participan en la cadena de suministros con el fin de mejorar el desempeño a largo plazo de las empresas individuales y de la cadena de suministros como un todo.[7]

El modelo de dirección de la cadena de suministros de la figura 1-1, visto como un conducto directo de transmisión, muestra la amplitud de esta definición. Es importante notar que la dirección de la cadena de suministros trata de la coordinación de los flujos de producto mediante funciones y a través de las compañías para lograr la ventaja competitiva y la productividad para empresas individuales en la cadena de suministros, y para los miembros de la cadena de suministros de manera colectiva.

---

[6] Robert B. Handfield y Ernest L. Nichols Jr., *Introduction to Supply Chain Management* (Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1999), pág. 2.

[7] John T. Mentzer, William DeWitt, James S. Keebler, Soonhong Min, Nancy W. Nix, Carlo D. Smith y Zach G. Zacharia, "Defining Supply Chain Management", *Journal of Businees Logistics*, Vol. 22, Núm. 2 (2001), págs. 1-25.

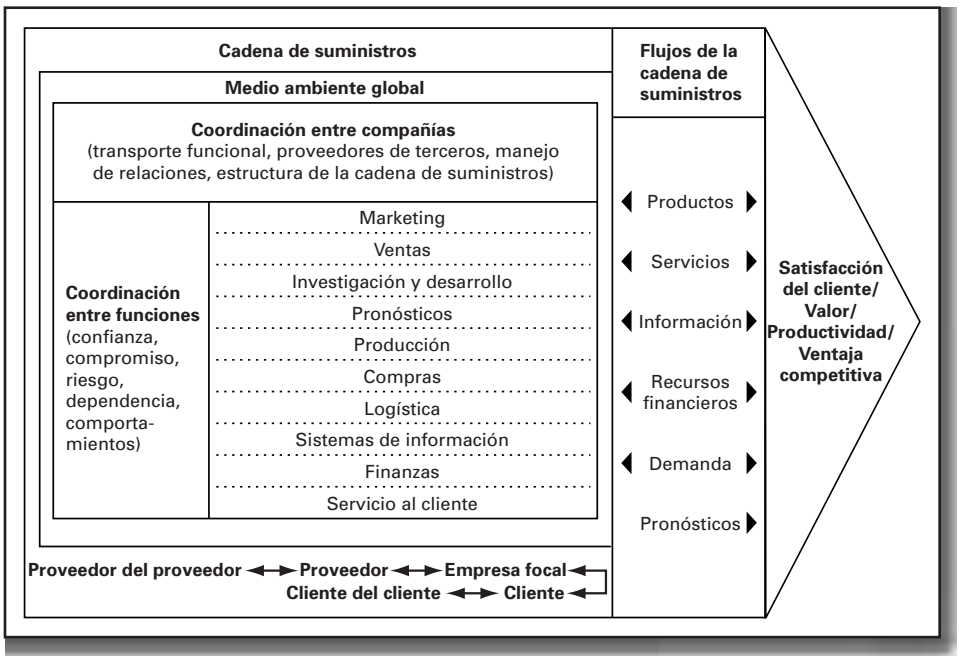


Figura 1-1 Modelo de dirección de la cadena de suministros.

Fuente: Mentzer et al, "Defining Supply Chain Management", *Journal of Business Logistics*, Vol. 22, Núm. 2 (2001), pág. 19. Reproducido con permiso del Consejo de Administración Logística.

En la práctica es difícil separar la dirección de la logística de los negocios de la dirección de la cadena de suministros. En muchos aspectos, promueven la misma misión:

> Llevar los bienes o servicios adecuados al lugar adecuado, en el momento adecuado y en las condiciones deseadas, a la vez que se consigue la mayor contribución a la empresa.

Algunos proponen que la dirección de la cadena de suministros es sólo otro nombre para la dirección integrada de la logística de los negocios (IBLM, por sus siglas en inglés) y que con los años se ha fomentado el amplio alcance de la administración de suministros. Por lo contrario, otros dicen que la logística es un subgrupo de la dirección de la cadena de suministros (SCM, por sus siglas en inglés), donde la SCM considera temas adicionales más allá de los del flujo del producto. Por ejemplo, a la SCM le puede interesar la fijación de precios y la calidad de la manufactura. Aunque la SCM promueve ver el canal de suministros en su mayor amplitud, la realidad es que las empresas no practican este ideal. Fawcett y Magan descubrieron que las empresas que practican la integración de la cadena de suministros limitan su alcance a un nivel hacia arriba y uno hacia abajo.[8] El enfoque al parecer se relaciona con la creación de procesos transparentes dentro de sus pro-

[8] Stanley E. Fawcett y Gregory M. Magan, "The Retoric and Reality of Supply Chain Integration", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 32, Núm. 5 (2002), págs. 339-361.

pias compañías y en la aplicación de nuevas tecnologías de información para mejorar la calidad de la misma y la velocidad de intercambio entre los miembros del canal de flujo. El límite entre logística y cadena de suministros es confuso. Para los propósitos de este texto, nos referiremos a la dirección integrada de la logística de los negocios y a la SCM de modo intercambiable. El foco se centrará en el manejo del producto y los flujos de servicio de la manera más eficiente y efectiva, sin considerar un título descriptivo. Esto incluye la integración y la coordinación con otros miembros de los canales de flujo y con los proveedores del servicio para mejorar el desempeño de la cadena de suministros cuando sea práctico hacerlo así.

La cadena de suministros

Logística y cadena de suministros es un conjunto de actividades funcionales (transporte, control de inventarios, etc.) que se repiten muchas veces a lo largo del canal de flujo, mediante las cuales la materia prima se convierte en productos terminados y se añade valor para el consumidor. Dado que las fuentes de materias primas, las fábricas y los puntos de venta normalmente no están ubicados en los mismos lugares y el canal de flujo representa una secuencia de pasos de manufactura, las actividades de logística se repiten muchas veces antes de que un producto llegue a su lugar de mercado. Incluso entonces, las actividades de logística se repiten una vez más cuando los productos usados se reciclan en el canal de la logística pero en sentido inverso.

En general, una sola empresa no es capaz de controlar todo su canal de flujo de producto, desde la fuente de la materia prima hasta los puntos de consumo final, aunque esto sería una oportunidad emergente. Para propósitos prácticos, la logística de los negocios para una empresa individual tiene alcance más limitado. Normalmente, el máximo control gerencial que puede esperarse acaba en el suministro físico inmediato y en los canales físicos de distribución, tal y como se muestra en la figura 1-2. *Canal físico de suministros* se refiere a la brecha de tiempo y espacio entre las fuentes inmediatas de material de una empresa y sus puntos de procesamiento. De manera similar, *canal físico de distribución* se refiere a la brecha de tiempo y espacio entre los puntos de procesamiento de una empresa y sus clientes. Debido a las semejanzas en las actividades entre los dos canales, el suministro físico (por lo común conocido como administración de materiales) y la distribución física comprenden aquellas actividades que están integradas en la logística de los negocios. La dirección de la logística de los negocios se conoce ahora popularmente como dirección de la cadena de suministros.[9] Se usan otros términos, como *redes de valor, corrientes de valor* y *logística ágil* para describir un alcance y un propósito parecidos. En la figura 1-3 se muestra la evolución de la dirección del flujo del producto hacia la dirección de la cadena de suministros.

Aunque es fácil pensar en la logística como la dirección del flujo de productos desde los puntos de la adquisición de materias primas hasta los consumidores finales, para muchas empresas existe un *canal inverso de la logística* que también debe ser dirigido. La vida de un producto, desde el punto de vista de la logística, no termina con su entrega al clien-

[9] Algunos defensores de la dirección de la cadena de suministros incluyen la fijación de precios dentro de su alcance. La dirección de la logística de los negocios rara vez lo hace.

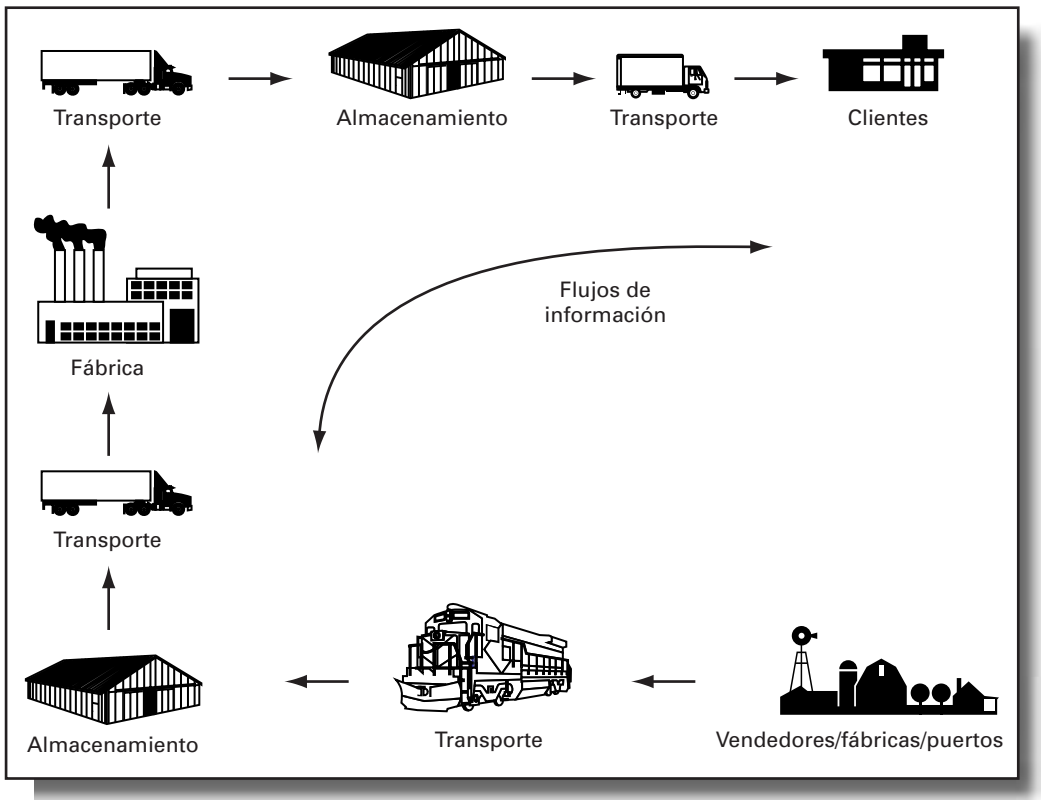


Figura 1-2 Cadena de suministros inmediata para una empresa individual.

te. Los productos se vuelven obsoletos, se dañan o no funcionan y son devueltos a sus puntos de origen para su reparación o eliminación. Los materiales empacados pueden ser devueltos a quien los expide debido a regulaciones ambientales o porque tiene sentido económico reusarlos. El canal inverso de la logística puede utilizar todo o una parte del canal directo de la misma, o puede requerir un diseño por separado. La cadena de suministros termina con la eliminación final de un producto. El canal inverso debe considerarse dentro del alcance de la planeación y del control de la logística.

Ejemplo

El canal inverso de la logística entra en juego cuando un cliente compra un tostador al minorista. El cliente se lleva el tostador a casa y encuentra que está defectuoso. El cliente lo devuelve al minorista, el cual amablemente le reembolsa el precio de compra. El minorista ahora tiene guardado un tostador defectuoso en el inventario de la tienda. El minorista lo envía al centro de devoluciones, donde una vez recibido se escanea el Código Universal del Producto (UPC, por sus siglas en inglés) del tostador para su identificación en la base de datos del centro de devoluciones. La base de datos determina que el tostador reúne los requisitos para ser regresado al vendedor. La base de datos acredita que el tostador

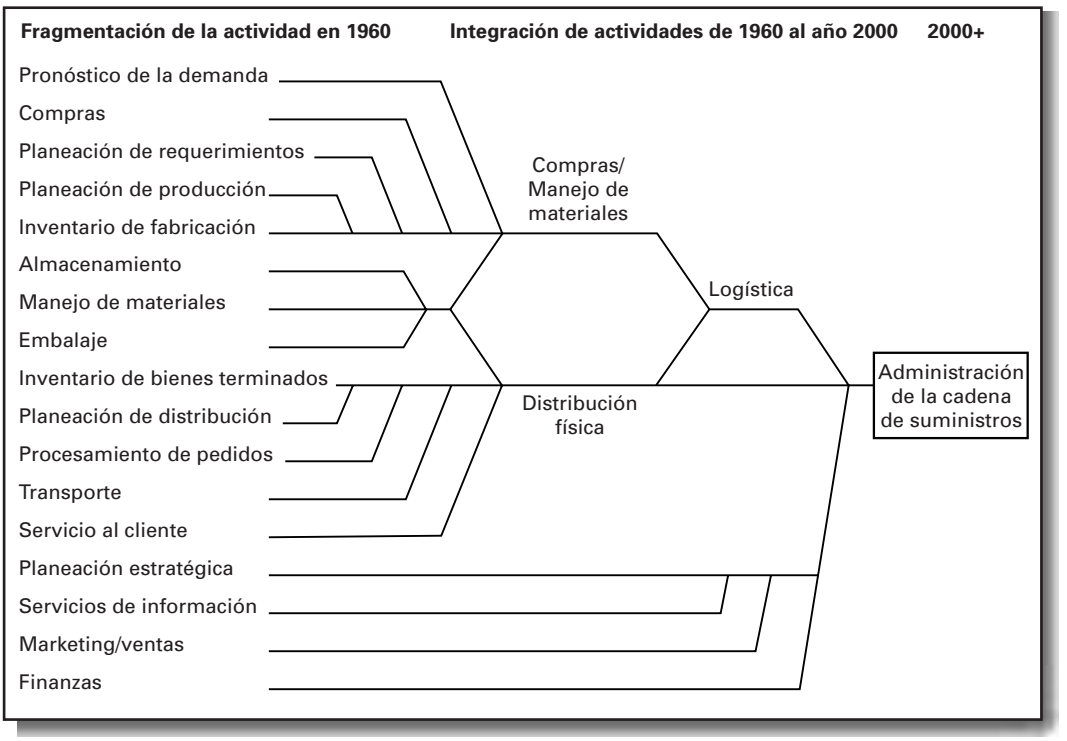


Figura 1-3 Evolución de la logística hacia la cadena de suministros.

Fuente: John Yuva, "Collaborative Logistics: Building a United Network", *Inside Supply Management*, Vol. 13, Núm. 5 (mayo de 2002), pág. 50 (con modificaciones).

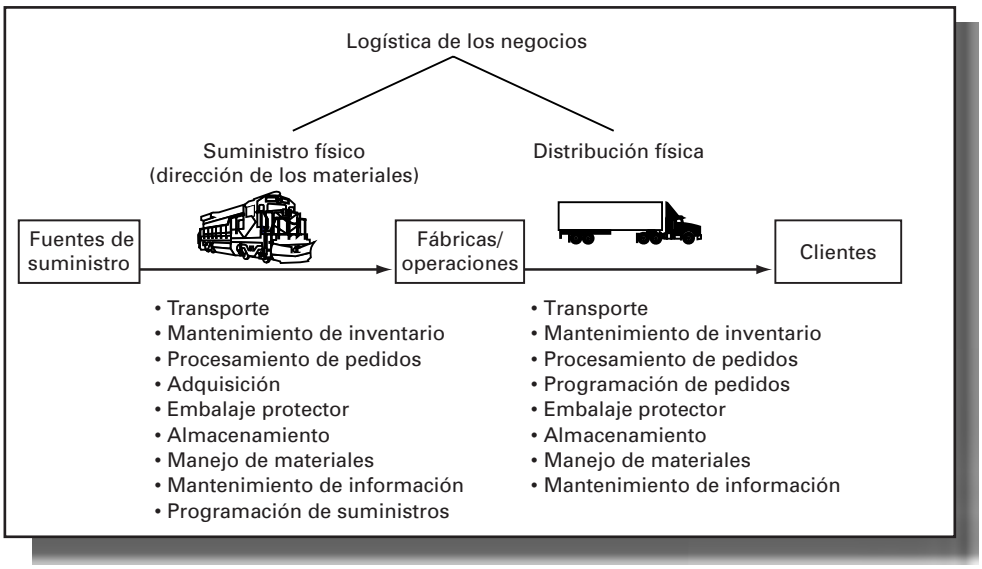
está en el inventario del almacén y crea un cargo de regreso al fabricante por el costo del tostador. El tostador es enviado de regreso al fabricante. El minorista ha recuperado el costo de este aparato defectuoso. El tostador es recibido en el centro de devoluciones del fabricante. El fabricante escanea el tostador en su base de datos y determina que tiene una orden de reparación. Se repara el tostador y se envía para su reventa en el mercado secundario. En esos momentos, el fabricante ha ganado valor de su aparato estropeado.[10]

Mezcla de actividades

Las actividades que se dirigen para conformar la logística de los negocios (proceso de la cadena de suministros) varían de una empresa a otra, dependiendo de la estructura organizacional de cada una, de las honestas diferencias de opinión, de la administración respecto de lo que constituye la cadena de suministros para su negocio y de la importancia de las actividades individuales para sus operaciones. Sígase la cadena de suministros que se

[10] Jerry A. Davis, Jerome G. Lawrence, Peter Rector y Herbert S. Shear, "Reverse Logistics Pipeline", *Annual Conference Proceedings* (San Diego, CA: Council of Logistics Management, 8-11 de octubre de 1995), pág. 427.

Figura 1-4 Actividades de la logística en la cadena de suministros inmediata de una empresa.



muestra en la figura 1-2 y nótense las importantes actividades que tienen lugar. Una vez más, según el CLM:

> Los componentes de un sistema típico de logística son: servicios al cliente, pronóstico de la demanda, comunicaciones de distribución, control de inventarios, manejo de materiales, procesamiento de pedidos, apoyo de partes y servicio, selección de la ubicación de fábricas y almacenamiento (análisis de localización), compras, embalaje, manejo de bienes devueltos, eliminación de mercaderías aseguradas rescatadas (desechos) y desperdicios, tráfico y transporte, almacenamiento y provisión.[11]

En la figura 1-4 se organizan estos componentes, o actividades, dependiendo del punto donde puedan tener lugar en el canal de suministros. La lista está ampliamente dividida en actividades clave y actividades de apoyo, junto con algunas de las decisiones asociadas con cada actividad.

Actividades clave

1. Los estándares de servicio al cliente cooperan con marketing para:
   a. Determinar las necesidades y requerimientos del cliente para la logística del servicio al cliente
   b. Determinar la respuesta del cliente al servicio
   c. Fijar los niveles de servicio al cliente
2. Transporte
   a. Selección del modo y servicio de transporte
   b. Consolidación del flete

[11] *Careers in Logistics* (Oak Brook, IL: Council of Logistics Management), pág. 3.

c. Rutas del transportador
d. Programación de los vehículos
e. Selección de equipo
f. Procesamiento de quejas
g. Auditorías de tarifas

3. Manejo de inventarios

a. Políticas de almacenamiento de materias primas y bienes terminados
b. Estimación de ventas a corto plazo
c. Mezcla de producto en los centros de aprovisionamiento
d. Número, tamaño y localización de los puntos de almacenamiento
e. Estrategias a tiempo, de sistema push y de sistema pull

4. Flujos de información y procesamiento de pedidos

a. Procedimientos de la interfaz pedidos de venta-inventarios
b. Métodos de transmisión de información de pedidos
c. Reglas de pedido

Actividades de apoyo

1. Almacenamiento

a. Determinación de espacios
b. Distribución de las existencias y diseño de la dársena o punto para descarga
c. Configuración del almacén
d. Colocación de las existencias

2. Manejo de materiales

a. Selección del equipo
b. Políticas de reemplazo de equipos
c. Procedimientos de levantamiento de pedidos
d. Almacenamiento y recuperación de existencias

3. Compras

a. Selección de la fuente de suministros
b. Momento correcto para comprar
c. Cantidades a comprar

4. Embalaje de protección diseñado para:

a. Manejo
b. Almacenamiento
c. Protección por pérdida y daños

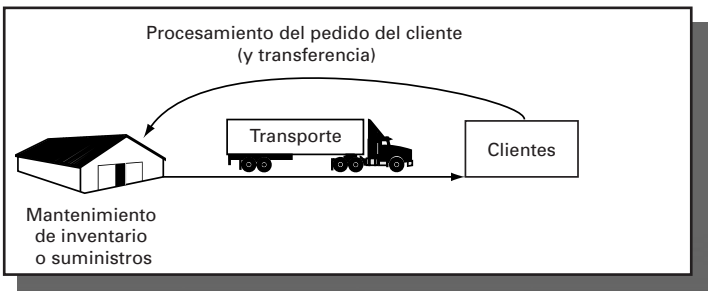
5. Cooperación con producción y operaciones para:

a. Especificar cantidades adicionales
b. Secuencia y rendimiento del tiempo de producción
c. Programación de suministros para producción y operaciones

6. Mantenimiento de información

a. Recopilación, almacenamiento y manipulación de la información
b. Análisis de datos
c. Procedimientos de control

Figura 1-5
Curva crítica del servicio al cliente



Las actividades clave y de apoyo están separadas porque algunas en general tendrán lugar en todos los canales de la logística, en tanto que otras ocurrirán dentro de una empresa en particular, dependiendo de las circunstancias. Las actividades clave están en la curva "crítica" dentro del canal de distribución física inmediata de una empresa, según se muestra en la figura 1-5. Son las que más contribuyen al costo total de la logística o son esenciales para la coordinación efectiva y para completar la tarea logística.

Los estándares de servicio al cliente fijan el nivel de rendimiento y el grado de rapidez al cual debe responder el sistema de logística. Los costos de logística se incrementan en proporción al nivel suministrado de servicio al cliente, de manera que la fijación de los estándares de servicio también afecta los costos de logística que apoyan ese nivel de servicio. Fijar requerimientos de servicio muy altos puede forzar los costos de logística hasta llegar a niveles extraordinariamente elevados.

El transporte y el mantenimiento de inventarios son las actividades logísticas que principalmente absorben costos. La experiencia ha demostrado que cada una de ellas representará 50 a 66% de los costos logísticos totales. El transporte añade valor de *lugar* a los productos y servicios, en tanto que el mantenimiento de inventarios les añade valor de *tiempo.*

El transporte es esencial porque ninguna empresa moderna puede operar sin el movimiento de sus materias primas o de sus productos terminados. Esta importancia es subrayada por la tensión financiera que sufren muchas empresas por desastres, como una huelga nacional de transporte ferroviario o porque los transportistas independientes se nieguen a mover los bienes por disputas de tarifas. En estas circunstancias, no puede darse servicio a los mercados y los productos retornan en forma logística directa por deterioro o por volverse obsoletos.

Los inventarios también son esenciales para la dirección logística porque normalmente no es posible, o no es práctico, suministrar producción instantánea o asegurar tiempos de entrega a los clientes. Sirven como amortiguadores entre la oferta y la demanda, de manera que se pueda mantener la disponibilidad del producto necesitado para el cliente, a la vez que haya flexibilidad de producción y logística en la búsqueda de métodos eficientes de fabricación y distribución del producto.

El procesamiento de pedidos es la actividad clave final: Sus costos por lo general son menores comparados con los del transporte o con los de mantenimiento de inventarios. Sin embargo, el procesamiento de pedidos es un elemento importante en el tiempo total que se requiere para que un cliente reciba los bienes o servicios. Es la actividad que desencadena el movimiento del producto y la entrega del servicio.

Aunque las actividades de apoyo pueden ser tan importantes como las actividades clave en alguna circunstancia en particular, aquí se consideran como una contribución a la misión de la logística. Además, una o más de las actividades de apoyo pueden no ser

parte de la mezcla de actividades logísticas de cada empresa. Por ejemplo, productos como automóviles terminados, o artículos de utilidad, como el carbón, el mineral de hierro o la grava (que no requieren protección por el clima o la seguridad de un almacén) no necesitarán la actividad de almacenamiento, aun cuando se mantengan inventarios. Sin embargo, es normal que el almacenamiento y el manejo de materiales se lleven a cabo si los productos se detienen temporalmente en su movimiento hacia su mercado.

El embalaje de protección es una actividad de apoyo al transporte y al mantenimiento de inventarios, así como al almacenamiento y al manejo de materiales, porque contribuye a la eficiencia con la que se llevan a cabo estas actividades. La compra y programación del producto a menudo puede considerarse más un asunto de producción que de logística. Sin embargo, también afectan al esfuerzo general de la logística, y en especial a la eficiencia del transporte y la dirección de inventarios. Por último, el mantenimiento de información apoya a todas las actividades de la logística, ya que suministra la información necesaria para la planeación y el control.

La *cadena extendida de suministros* se refiere a aquellos miembros del canal de suministros más allá de los proveedores o de los clientes inmediatos de una empresa. Pueden ser los proveedores de los proveedores inmediatos o los clientes de los clientes inmediatos y así hasta llegar a los puntos de origen de la materia prima o a los consumidores finales. Es importante planear y controlar las actividades comentadas con anterioridad y los flujos de información si afectan a la logística del servicio que pueda suministrarse al cliente, así como a los costos de suministro de este servicio. La dirección de la cadena extendida de suministros tiene el potencial de mejorar el desempeño logístico más allá de sólo dirigir las actividades dentro de la cadena inmediata de suministros.

Importancia de la logística y de la cadena de suministros

La logística gira en torno a crear *valor*: valor para los clientes y proveedores de la empresa, y valor para los accionistas de la empresa. El valor en la logística se expresa fundamentalmente en términos de tiempo y lugar. Los productos y servicios no tienen valor a menos que estén en posesión de los clientes cuándo (tiempo) y dónde (lugar) ellos deseen consumirlos. Por ejemplo, las entradas a un evento deportivo no tendrán valor para los clientes si no están disponibles en el tiempo y en el lugar en los que ocurra el evento, o si los inventarios inadecuados no satisfacen las demandas de los aficionados. Una buena dirección logística visualiza cada actividad en la cadena de suministros como una contribución al proceso de añadir valor. Si sólo se le puede añadir poco valor, entonces se podrá cuestionar si dicha actividad debe existir. Sin embargo, se añade valor cuando los clientes prefieren pagar más por un producto o un servicio que lo que cuesta ponerlo en sus manos. Por varias razones, para muchas empresas de todo el mundo, la logística se ha vuelto un proceso cada vez más importante al momento de añadir valor.

Los costos son importantes

Con los años, se han llevado a cabo diferentes estudios para determinar los costos de la logística para la economía en general y para las empresas en particular. Hay estimaciones ampliamente discrepantes de los niveles de costos. Según el Fondo Monetario Internacional (FMI), el promedio de los costos logísticos es alrededor de 12% del producto nacional bruto del

Tabla 1-3
Costos promedio recientes de distribución física en porcentajes de ventas y $/quintal[a]

CATEGORÍA	PORCENTAJE DE VENTAS	$ POR QUINTAL
Transporte	3.34%	$26.52
Almacenamiento	2.02	18.06
Servicio al cliente/recibo de pedidos	0.43	4.58
Administración	0.41	2.79
Costos de llevar un inventario @ 18% anual	1.72	22.25
Costos totales de distribución[b]	7.65%	$67.71

[a] Las estadísticas son para todo tipo de empresas; sin embargo, representan más fielmente a las empresas manufactureras, ya que eran mayoritarias en la base de datos.

[b] Los autores de este estudio consideran que los totales no coinciden con la suma de las estadísticas individuales debido al diferente número de entradas de datos de cada categoría.

Fuente: Herbert W. Davis y William H. Drumm, "Logistics Costs and Service Database-2002", *Annual Conference Proceedings* (San Francisco, CA: Council of Logistics Management, 2002) en www.clm1.org.

mundo. Robert Delaney, quien ha investigado costos logísticos por más de dos décadas, estima que los costos de la logística para la economía de Estados Unidos son de 9.9% del producto nacional bruto (PNB) de ese país, es decir, $921 mil millones de dólares.[12] Para una empresa, los costos de logística se han extendido de 4% hasta más de 30% del volumen de sus ventas.[13] En la tabla 1-3 se muestran los resultados de un estudio de costos realizado en empresas individuales. Aunque los resultados muestran que los costos de distribución física están alrededor de 8% de las ventas, este estudio no incluye los costos de suministro físico. Tal vez se pueda añadir otro tercio a este total para representar el costo logístico promedio de una empresa: alrededor de 11% de su volumen de ventas. En la última década, los costos de distribución física han fluctuado entre 7 y 9% de las ventas. Puede haber una tendencia de incremento de los costos para las empresas en particular, aunque Wilson y Delaney muestran que en el mismo periodo los costos de logística (como porcentaje del producto interno bruto de Estados Unidos) han declinado alrededor de 10%.[14] Los costos de logística, importantes para la mayor parte de las empresas, ocupan una segunda posición detrás de los costos de los bienes vendidos (costos de compra), los cuales constituyen alrededor de 50 a 60% de las ventas para una empresa manufacturera promedio. El valor se añade minimizando estos costos y pasando los beneficios a los consumidores y a los accionistas de la empresa.

Las expectativas de la logística del servicio al cliente están incrementando

Internet, los procedimientos de operación a tiempo y el continuo reaprovisionamiento de los inventarios han contribuido a que los clientes esperen gran rapidez en el procesa-

[12] Rosalyn Wilson y Robert V. Delaney, "11th Annual State of Logistics Report", *Cass Information Systems and ProLogis* (Washington, DC: National Press Club, 5 de junio de 2000).
[13] Para una historia de estos estimados de costos, véase Bernard L. LaLonde y Paul H. Zinszer, *Customer Service: Meaning and Measurement* (Chicago: National Council of Physical Distribution Management, 1976); Richard E. Snyder, "Physical Distribution Costs: A Two Year Analysis", *Distribution Age*, Vol. 62 (enero de 1963), págs. 50-51; y Wendall M. Stewart, "Physical Distribution: Key to Improved Volume and Profits", *Journal of Marketing*, Vol. 29 (enero de 1965), pág. 67.
[14] Wilson y Delaney, *op. cit*.

MEDIDA ESTÁNDAR DEL PRODUCTO		1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Ciclo total del pedido												
Tiempo, en días		8	7	7	6	9	8	7	8	8	7	8
Disponibilidad	porcentaje de pedidos	84	84	86	87	87	87	85	85	86	87	88
del producto	porcentaje de artículos de línea	92	92	92	92	94	94	93	90	92	93	95

Fuente: Herbert W. Davis y William H. Drumm, "Logistics Costs and Service Database-2002", *Annual Conference Proceedings* (San Francisco, CA: Council of Logistics Management, 2002), en www.clml.org.

Tabla 1-4 Medidas promedio de desempeño del servicio al cliente para todas las empresas, años de estudio 1992-2002

miento de sus requerimientos y en la entrega de sus pedidos, así como que exista un alto grado de disponibilidad de los productos. Según el estudio de Davis realizado a cientos de compañías durante el último decenio, los competidores de clase mundial tienen tiempos promedio del ciclo de pedidos (el tiempo que transcurre desde que tiene lugar un pedido y cuando se recibe) de siete a ocho días y porcentajes de reaprovisionamiento de artículos de línea de 90 a 94%.[15] LogFac resume el desempeño logístico de clase mundial para compañías domésticas como:

- Porcentajes de error menores de uno por cada mil pedidos transportados
- Costos de logística al menos de 5% de las ventas
- Coeficiente de rotación de inventarios de bienes terminados de 20 ó más veces al año
- Tiempo total del ciclo del pedido de cinco días laborales
- Costo de transporte de 1% o menos de los ingresos por ventas si los productos vendidos están a más de $5 por libra.[16]

Como pudiera esperarse, cuando se compara con las estadísticas de las tablas 1-3 y 1-4, la compañía promedio se desempeña por debajo de estos puntos de referencia de costos y de servicio al cliente.

Las líneas de suministros y de distribución están creciendo con mayor complejidad

La tendencia se dirige hacia una economía mundial integrada. Las empresas están buscando o han desarrollado estrategias globales, diseñando sus productos para un mercado mundial y produciéndolos donde la materia prima, los componentes y la mano de obra puedan hallarse a bajo costo (por ejemplo, el automóvil Focus de Ford), o simplemente producen localmente y venden a nivel internacional. En cualquier caso, las líneas de suministros y de distribución se han ampliado si las comparamos con el productor que desea fabricar y vender sólo localmente. Esta tendencia no sólo ha ocurrido de manera natural en las empresas que buscan recortar costos o expandir mercados, sino que también ha sido animada por acuerdos políticos que promueven el comercio. Ejemplos de esto último son la Unión Europea, el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN)

[16] "Logistics Rules of Thumb III", *LogFac*, www.logfac.com (2001).

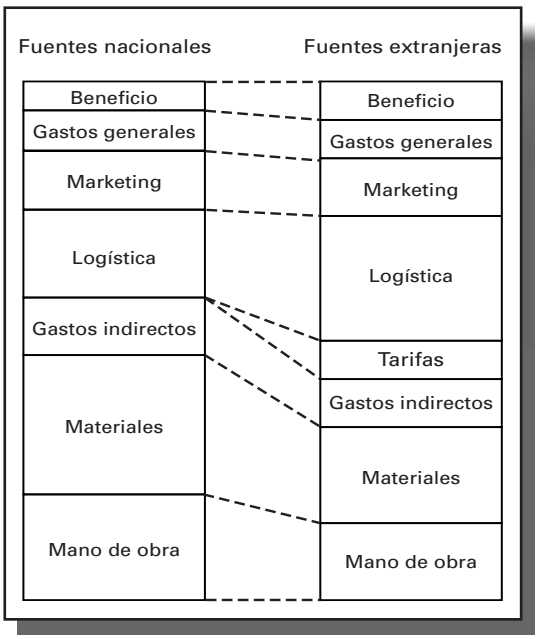


Figura 1-6
Beneficios económicos de contratar desde ubicaciones externas de bajo costo, en vez de proveedores locales de costos más altos.

Fuente: "International Logistics: Battleground of the '90s." (Chicago: A. T. Kearney, 1988).

entre Canadá, Estados Unidos y México, y los acuerdos económicos comerciales entre diversos países de América del Sur (MERCOSUR).

La globalización y la internacionalización de las industrias en todas partes dependerá en gran medida del desempeño y los costos logísticos, según las compañías vayan alcanzando una visión más a nivel mundial de sus operaciones. Cuando esto ocurra, la logística alcanzará creciente importancia dentro de la empresa, ya que sus costos, en especial los de transporte, llegarán a ser una parte mayoritaria de la estructura total de costos. Por ejemplo, si una firma busca proveedores extranjeros para cubrir sus necesidades de materia prima para fabricar su producto final u otros lugares para desarrollar su producto, la motivación será incrementar su beneficio. Los costos de material y de mano de obra pueden reducirse, pero será más probable que los costos de logística aumenten debido al incremento de los costos de transporte y de inventario. El comercio, según se muestra en la figura 1-6, puede dirigirse a un mayor beneficio reduciendo los costos de materiales, mano de obra y gastos indirectos o de fabricación debido a los costos de logística y aranceles. La contratación de terceros para ciertas actividades internas de la empresa añade valor, pero requiere de una cuidadosa administración de los costos de logística y de los tiempos de flujo del producto en el canal de suministros.

Ejemplo

Toyota tiene 35 plantas manufactureras en 25 países (sin incluir Japón) en las cuales produce casi 900,000 vehículos anualmente. Aunque las exportaciones disminuyeron 9% en 1993, la producción allende los mares aumentó 16 por ciento. En el caso de Georgetown, Kentucky, donde se construyen los Camry, Toyota utilizó el concepto a tiempo para suministrar piezas de esos vehículos desde el otro lado del Pacífico. Esas piezas se cargaban en

contenedores transoceánicos en Japón, se embarcaban por el Pacífico y se llevaban en trenes por la costa oeste de Estados Unidos para descargarlos en Georgetown, donde alimentaban una línea de ensamblaje con producción de 1,000 Camry al día. Las entregas se programaban al minuto para mantener bajos los inventarios. Debido a las largas líneas de suministro y a las incertidumbres relacionadas, los canales de suministro debieron manejarse más cuidadosamente que si toda la producción fuera local.[17]

La logística y la cadena de suministros son importantes en la estrategia

Las empresas gastan mucho tiempo buscando la manera de diferenciar sus productos de los de sus competidores. Cuando la administración reconoce que la logística y la cadena de suministros afectan a una parte importante de los costos de una empresa y que el resultado de las decisiones que toma en relación con los procesos de la cadena de suministros reditúa en diferentes niveles de servicio al cliente, está en posición de usar esto de manera efectiva para penetrar nuevos mercados, para incrementar la cuota de mercado y para aumentar los beneficios. Es decir, una buena dirección de la cadena de suministros puede no sólo reducir costos, sino también generar ventas. Considérese cómo Wal-Mart usó la logística como el núcleo de su estrategia competitiva para ser el número uno del mundo en venta de mercancías al menudeo.

Ejemplo

Wal-Mart gana con la logística Kmart y Wal-Mart son dos cadenas de venta al menudeo que hace unos cuantos años vendían los mismos productos, buscaban los mismos clientes e incluso tenían nombres parecidos. Cuando comenzó la carrera, la gente se acostumbró a la "gran K roja", cuyas tiendas salpicaban las áreas metropolitanas, pero pocos habían oído hablar de Wal-Mart, cuyas tiendas estaban en zonas rurales. Considerando lo parecido de las tiendas y de su misión, los analistas atribuyen la fortuna de las dos cadenas principalmente a las diferentes filosofías administrativas.

En 1987, Kmart iba a la cabeza, con el doble de tiendas y ventas de $26 mil millones de dólares, comparados con los $16 mil millones de Wal-Mart. Con su presencia urbana y un enfoque en publicidad, Kmart era más visible. Por lo contrario, Wal-Mart comenzó en almacenes aislados en las afueras de pequeñas ciudades, tentando a los clientes para que dejaran las tiendas familiares de los antiguos centros comerciales. Pero Wal-Mart se multiplicaba rápidamente sobre el paisaje rural, y era inevitable una invasión a la América urbana, así como una confrontación con Kmart.

Los ejecutivos de Kmart se enfocaron en el marketing y la mercadería, incluso contratando a la estrella de Hollywood Jaclyn Smith para promover su línea de ropa. Por lo contrario, Sam Walton, el fundador de Wal-Mart, estaba obsesionado con las operaciones. Invirtió millones de dólares en un sistema de cómputo para toda la compañía que vinculara las cajas registradoras con la dirección general, posibilitándole reaprovisionar rápidamente los productos. También invirtió con gran fuerza en transporte y modernos centros de distribución. Además de aumentar su control en la cadena de suministros, estos movimientos claramente redujeron costos. Mientras Kmart intentaba mejorar su imagen y cultivar la lealtad a

[17] Joseph Bonney, "Toyota's Global Conveyor Belts", *American Shipper* (septiembre de 1994), págs. 50-58.

la tienda, Walton seguía bajando costos, apostando a que el precio demostraría ser más importante que cualquier otro factor al momento de atraer clientes. Los increíblemente sofisticados sistemas de distribución, inventario y escáner consiguieron que los clientes casi nunca encontraran los estantes vacíos o que casi no hubiera retrasos al comprobar los precios.

Entre tanto, las quejas de Kmart se amontonaban mientras abundaban horribles historias sobre su distribución. Los empleados carecían de capacitación y de la habilidad de planear y controlar los inventarios de manera apropiada, y las cajas registradoras de Kmart a menudo no tenían información actualizada y escaneaban productos con precios erróneos. Esto condujo a un litigio en California, y Kmart tuvo que pagar una multa de $985,000 dólares por cobrar precios excesivos a sus clientes.

A través de los años, Wal-Mart se ha enfocado en los asuntos de logística, mismos que le han permitido mantener precios bajos y clientes satisfechos que regresan a menudo. ¡Actualmente Wal-Mart es cerca de seis veces el tamaño de Kmart![18]

Ya en el siglo XXI, Kmart ha seguido enfocándose en panfletos publicitarios y fijación de precios promocionales, en tanto que Wal-Mart lo ha hecho enfocándose más en la eficiencia de la cadena de suministros y menos en la publicidad, con el resultado de que los costos de venta, administrativos y generales fueron de 17.3% para Wal-Mart, en tanto que los de Kmart fueron del 22.7%. Wal-Mart fue capaz de lograr precios con un promedio de 3.8% por debajo de los de Kmart, e incluso hasta de 3.2% por debajo de los de Target. En el año 2002, Kmart cayó en bancarrota y sufrió una reorganización.[19]

La logística y la cadena de suministros añaden un valor importante para el cliente

Un producto o un servicio tiene poco valor si no está disponible para los clientes en el momento y el lugar en que ellos desean consumirlo. Cuando una empresa incurre en el costo de mover el producto hacia el consumidor o de tener un inventario disponible de manera oportuna, ha creado un valor para el cliente que antes no tenía. Es un valor tan indudable como lo es el creado mediante la fabricación de un producto de calidad o mediante un bajo precio.

Por lo general se reconoce que el negocio crea cuatro tipos de valor en los productos o en los bienes. Estos son: forma, tiempo, lugar y posesión. La logística crea dos de esos cuatro valores. La manufactura crea valor de *forma* cuando el dinero gastado se convierte en producción, es decir, cuando las materias primas se convierten en bienes terminados. La logística controla los valores de *tiempo* y *lugar* en los productos, principalmente mediante el transporte, el flujo de información y los inventarios. El valor de *posesión* a menudo es considerado como la responsabilidad del marketing, la ingeniería y las finanzas, donde el valor se crea ayudando a los clientes a adquirir el producto mediante mecanismos como la publicidad (información), el apoyo técnico y los términos de venta (fijación de precios y disponibilidad de crédito). Considerando que la SCM incluye producción, tres de los cuatro valores pueden ser responsabilidad del director de logística y de la cadena de suministros.

[18] "Loss Leader: How Wal-Mart Outdid a Once-Touted Kmart in Discount Store Race", *Wall Street Journal*, 24 de marzo de 1995, y datos de ingresos del año 2000 de los informes financieros de Wal-Mart y Kmart hallados en línea en http:/finance.yahoo.com

[19] Amy Merrick, "Expensive Ad Circulars Help Precipitate Kmart President's Departure", *Wall Street Journal*, 18 de enero de 2002, B1ff.

Ejemplo

Cuando las casas de descuento que venden software para computadoras a través de páginas Web, catálogos y anuncios de revistas quisieron competir con los minoristas locales, tuvieron una ventaja en el precio debido a las economías de escala que podían lograr. Las operaciones se centraban en un lugar donde el espacio de almacenamiento tenía más bajo costo que el espacio para menudeo de costos más altos. El personal consistía principalmente el asociado a tomar pedidos telefónicos, llenar órdenes para el almacén y empacadores. Los inventarios se minimizaron de manera relativa con las ventas mediante la centralización, pero estas operaciones de descuento también ofrecían variedades considerables y altos niveles de disponibilidad de los productos. Por lo contrario, los minoristas tenían la ventaja de disponibilidad inmediata para el cliente ansioso que equilibraría cualquier desventaja de precio que tuviera el minorista local. Para contrarrestar esta posible ventaja en la entrega de los minoristas en sus mercados locales, las casas de descuento se aseguraron de que los pedidos de los clientes pudieran hacerse utilizando números de teléfono gratuitos o a través de Internet, que estos pedidos se completaran *el mismo día* y que fueran entregados de un día para otro usando reparto aéreo prioritario. ¡Muchos clientes encontraron esto casi tan rápido y, en muchos casos, mucho más conveniente que la manera tradicional de comprar! Mediante la logística se ha creado un valor para el cliente ocupado.

Los clientes quieren cada vez más una respuesta rápida y personalizada

Los minoristas de comida rápida, los cajeros automáticos, el reparto de un día para otro y el correo electrónico de Internet han hecho que los consumidores esperemos que los productos y servicios puedan estar disponibles en tiempos cada vez más breves. Además, la mejora de los sistemas de información y los procesos de manufactura flexibles han llevado al mercado hacia la "fabricación personal en masa". En vez de que los consumidores tengan que aceptar la filosofía de la "unitalla" en sus compras, los proveedores están ofreciendo cada vez más productos que satisfacen las necesidades individuales de los clientes.

Observaciones

- Dell, empresa de computadoras personales, configurará una PC según los requerimientos exactos de hardware del cliente, e incluso le instalará el software requerido.
- L. L. Bean vende ropa y otros artículos por catálogo y a través de su página Web. Además, algunas de las prendas pueden ser modificadas a la medida exacta del cliente. Por otra parte, L. L. Bean asegurará una rápida entrega enviándola por Federal Express sin cargo adicional (si el cliente carga su pedido a la tarjeta de crédito L. L. Bean Visa).
- National Bicycle Industrial Co., subsidiaria de la gigantesca empresa japonesa de electrónicos Matsushita, construye bicicletas usando técnicas *flexibles* de manufactura, las cuales le permiten cambiar la producción de un producto a otro con un costo mínimo de arranque. Más que la producción en masa a tamaños estándar y la formación de inventarios para las ventas al menudeo, National Bicycle construye bici-

cletas según las especificaciones precisas del cliente, con más de 11 millones de variaciones en 18 modelos de bicicletas para carretera, carreras y montaña. Aunque toma tres horas producir una bicicleta usando la manufactura flexible (en comparación con los 90 minutos de la producción en masa), la compañía es capaz de cobrar más de dos veces el precio, satisfaciendo así a los clientes con bicicletas únicas construidas según sus especificaciones individuales.

Las compañías también han estado aplicando el concepto de respuesta rápida a sus operaciones internas con el fin de satisfacer los requerimientos de servicio de sus propios esfuerzos de marketing. La filosofía de respuesta rápida se ha usado para crear una ventaja de marketing. Saks Fifth Avenue la aplicó, aun cuando los grandes beneficios se han hecho mediante grandes márgenes y no en las reducciones de costos que pudieran haberse logrado por una buena administración logística. Los costos de la cadena de suministros pueden incluso aumentar, aunque la ventaja debe cubrir más que estos costos gracias al incremento de beneficios.

Aplicación

Los minoristas salen del negocio a una tasa alarmante. Para Saks Fifth Avenue, este miedo solo pudo haber sido la motivación adecuada para dirigirse al mercado integrado y la logística. Los beneficios son obvios cuando el comercio dispone de fabricantes que pueden cortar la tela en Bangladesh y terminar las prendas de vestir en Italia antes de llevarlas a una lujosa tienda en Estados Unidos. La diferencia entre ganancia y pérdida en los artículos de mucha venta puede ser tan pequeña como de siete o 10 días, por lo que un buen desempeño de la logística requiere que dichos artículos estén en el piso de venta *precisamente* cuando más se les necesita. ¿Cómo lo hace Saks?

Las 69 tiendas de la compañía son abastecidas por sólo dos centros de distribución. Uno está en Yonkers, Nueva York, cerca de la tienda insignia en la Quinta Avenida de la ciudad de Nueva York. El otro está en Ontario, California, una buena ubicación para dar servicio al mercado de moda del sur de California. Un rápido movimiento por el canal de suministros es la clave para la productividad. Los artículos se procesan en los centros en operaciones de carga y descarga de 24 horas. Alrededor de 80% de los artículos importados por Saks llegan en carga aérea: los que vienen de Europa son manejados por Yonkers y los del Lejano Oriente por Ontario. Los artículos se intercambian entre los centros por carga aérea, dedicando un vuelo entre Nueva York y Los Ángeles todos los días laborables. Los centros de distribución sirven luego a sus tiendas locales con una combinación de carga aérea y camiones.[20]

La logística y la cadena de suministros en áreas que no son manufactureras

Quizá sea más fácil pensar en la logística y la cadena de suministros en términos de mover y almacenar el producto físico de una instalación manufacturera. Esto es un punto de vista muy limitado y puede llevar a perder oportunidades de negocio. Los principios y

[20] Bruce Vail, "Logistics, Fifth Avenue Style", *American Shipper* (agosto de 1994), págs. 49-51.

conceptos de la logística y la cadena de suministros aprendidos a través de los años pueden aplicarse a áreas como industrias de servicios, industria militar e incluso a la dirección del medio ambiente.

Industria del servicio

El sector servicios de los países industrializados es grande y sigue creciendo. En Estados Unidos, más de 70% de todos los puestos de trabajo están en lo que el gobierno federal clasifica como el sector de servicios. El tamaño de este sector por sí mismo obliga a preguntarnos si los conceptos de la logística no serían igualmente aplicables aquí como lo son en el sector manufacturero. Si lo son, hay una tremenda oportunidad desaprovechada que tiene que ser satisfecha.

Muchas compañías designadas como empresas de servicio de hecho producen un producto. Los ejemplos incluyen McDonald's Corporation (comidas rápidas); Dow Jones & Co., Inc. (publicación de periódicos), y Sears, Roebuck and Co. (comercio minorista). Estas compañías llevan a cabo todas las actividades típicas de la cadena de suministros de cualquier empresa manufacturera. Sin embargo, para compañías de servicios como Bank One (banca minorista), Marriott Corporation (hospedaje) y Consolidated Edison (energía eléctrica), las actividades de la cadena de suministros, especialmente las relacionadas con la distribución física, no son tan obvias.

Incluso, aunque muchas compañías orientadas al servicio pueden estar distribuyendo un producto intangible, no físico, están ocupadas en muchas actividades y decisiones de distribución. Un hospital tal vez quiera ampliar el cuidado médico de urgencia a toda la comunidad y debe tomar decisiones sobre dónde ubicar sus centros. United Parcel Service y Federal Express tienen que ubicar terminales y rutas de recolección, así como camiones de reparto. La East Ohio Gas Company hace inventarios de gas natural en pozos del subsuelo durante la estación baja en la región donde ocurrirá la demanda. Bank One tiene que ubicar y tener un inventario de efectivo a mano para sus cajeros automáticos. El Banco de la Reserva Federal tiene que seleccionar los métodos de transporte para mover cheques cancelados entre los bancos miembros. La Iglesia Católica tiene que decidir el número, ubicación y tamaño de las iglesias necesarias para satisfacer los cambios de tamaño y ubicación de las congregaciones, así como para planear el inventario de su personal pastoral. El servicio de reparación de Xerox de equipos de fotocopiado también es un buen ejemplo de las decisiones de logística que se encuentran en una operación de servicios.

Ejemplos

- Promise Keepers es un ministerio cristiano de varones que lleva a cabo 23 eventos importantes alrededor de Estados Unidos, con un público de 50 a 80,000 personas. Promise Keepers tiene que confiar en una buena dirección de logística para asegurar que sus campañas puedan ser presentadas a tiempo. La operación es lo suficientemente grande como para involucrar a una gran empresa transportista que maneja la logística del evento. Usando el concepto de *reparto a tiempo definido*, el transportista coordina la recepción de provisiones, como biblias de Chicago o sombreros de Kansas City, además de los camiones de carga del equipo del escenario. Los materiales deben armarse y entregarse en el lugar del evento, y además deben entregarse en el momento preciso. Dado que los eventos tienen lugar en estadios, pistas de carreras

y similares, hay otros eventos (juegos de pelota, carreras, etc.) que también están programados para el mismo fin de semana. Puede haber hasta 30 camiones que deben coordinarse para que lleguen y se vayan en el momento preciso, con el fin de evitar la congestión con la logística de otros eventos. Se usa tecnología informática para seguir la pista de los movimientos de los camiones y asegurar que se pueda lograr una coordinación extremadamente detallada.[21]

- En el lapso de una semana hubo tres historias importantes que arrojaron la mayor audiencia televisiva de la historia: la princesa Diana de Inglaterra moría en un accidente de automóvil en París; la Madre Teresa de Calcuta moría de un ataque al corazón en Calcuta y hubo un gran atentado con bomba en Jerusalén. Repentinamente, los medios tuvieron importantes problemas logísticos para cubrir tres grandes historias en tres esquinas del mundo. Por ejemplo, la CNN desvió un reportero desde París al Oriente Medio, en tanto que otras cadenas de noticias enviaron a sus corresponsales de Hong Kong a Calcuta. Luego, hubo problemas logísticos de asignación de tiempo aire para las tres historias.[22]

Las técnicas, conceptos y métodos comentados a través de este texto deberían ser tan aplicables al sector servicios como lo son al sector manufacturero. La clave, según Theodore Levitt, puede estar en transformar un servicio intangible en un producto tangible.[23] Los problemas quedarían resumidos en identificar los costos asociados con la distribución de un producto intangible. Quizás a causa de esto, pocas empresas u organizaciones de servicios tienen un gerente de distribución en su personal, aunque con frecuencia tengan un gerente de materiales para manejar temas de suministro. Sin embargo, administrar la logística en las industrias de servicios representa una nueva dirección para el futuro desarrollo de la práctica de la logística.

Industria militar

Antes de que las empresas mostraran mucho interés en coordinar los procesos de la cadena de suministro, los militares estaban bien organizados para llevar a cabo actividades logísticas. Más de una década antes del periodo de desarrollo de la logística en los negocios, los militares llevaron a cabo lo que fue llamado la operación logística más compleja y mejor planeada de esa época: la invasión a Europa durante la Segunda Guerra Mundial.

Aunque los problemas de los militares, con sus requerimientos de servicio al cliente extraordinariamente altos, no eran idénticos a los de los negocios, las semejanzas eran lo suficientemente grandes como para proveer una base de valiosa experiencia durante los años del desarrollo de la logística. Por ejemplo, la industria militar por sí misma mantenía inventarios valuados en casi una tercera parte de los que mantenían los fabricantes de Estados Unidos. Además de la experiencia administrativa que proveen tales operaciones a gran escala, la industria militar patrocinaba, y continúa patrocinando, la investigación en el área de la logística mediante organizaciones como la RAND Corporation y la Oficina de Investigación Naval. Con esta información básica, el campo de la logística de los negocios comenzó a crecer. Incluso el término *logística* parece haber tenido sus orígenes en los militares.

[21] Roger Morton, "Direct Response Shipping", *Transportation & Distribution* (abril de 1996), págs. 32-36.
[22] Kyle Pope, "For the Media, Diana's Funeral Prompts Debate", *Wall Street Journal*, 8 de septiembre de 1997, B1.
[23] Theodore Levitt, *The Marketing Imagination* (Nueva York: The Free Press, 1983), págs. 108-110.

El ejemplo más reciente de logística militar a gran escala se dio en el conflicto entre Estados Unidos e Irak, cuando Irak invadió el pequeño país de Kuwait. Esta invasión ha sido descrita como la mayor operación logística militar en la historia.[24] El apoyo logístico en esa guerra todavía es otra ilustración de lo que las compañías de clase mundial siempre han sabido: una buena logística puede ser la fuente de una ventaja competitiva. El teniente general William Pagonis, quien estaba a cargo del apoyo logístico de la Tormenta del Desierto, observó:

> Cuando el Oriente Medio comenzó a calentarse, pareció que era el momento para sacar algunos libros de historia sobre operaciones militares en el desierto en esta región... Pero no había nada de logística. La logística no es un best seller. En algunos de sus diarios, Rommel hablaba de logística. Pensó que los alemanes perdieron la batalla no porque no tuvieran grandes soldados o equipos (de hecho, los tanques alemanes superaron por completo a los nuestros durante casi toda la Segunda Guerra Mundial), sino porque los británicos tenían una mejor logística.[25]

El desempeño de una buena logística fue obvio. La primera oleada de 200,000 soldados y su equipo se desplegó en mes y medio, en tanto que el despliegue de las tropas tomó nueve meses y medio en el conflicto de Vietnam. Además, la aplicación de muchos buenos conceptos logísticos era evidente. Por ejemplo, tómese el de servicio al cliente:

> Pensamos que si cuidábamos a nuestras tropas, los objetivos se lograrían sin importar qué otra cosa pudiera pasar. Los soldados son nuestros clientes. No es diferente al enfoque determinado y simple en los clientes que tienen muchos negocios exitosos. Ahora, uno cuida de sus soldados no sólo suministrándoles refrescos fríos y hamburguesas y buena comida: tienes que asegurarte de que tienen las municiones en la línea del frente, para que cuando vayan a luchar a la guerra sepan que tienen lo que necesitan. [26]

Esto significaba que cuando los tanques solicitaban piezas de artillería de 120 mm en vez de las de 105 mm, se cambiaran. O que cuando se preferían vehículos de color pardo en vez del típico camuflaje verde, se repintaran 7,000 al mes.

Medio ambiente

La población crece y el desarrollo económico resultante ha aumentado nuestra conciencia sobre los temas ambientales. Tanto si es reciclaje como materiales de embalaje, transporte de materiales peligrosos o renovación de productos para reventa, los responsables de la logística están cada vez más involucrados. Después de todo, Estados Unidos solo produce más de 160 millones de toneladas de desechos al año, suficientes para que una caravana de camiones de 10 toneladas cada uno llegara a medio camino a la luna.[27] En muchos casos, la planeación de la logística en una situación ambiental no difiere de la de los sectores manufacturero o de servicios. Sin embargo, en unos pocos casos surgen complica-

[24] *Business Week*, 4 de marzo de 1991, págs. 42-43.
[25] Graham Sharman, "Good Logistics is Combat Power", *McKinsey Quarterly*, Núm. 3 (1991), págs. 3-21.
[26] Íbid.
[27] E. J. Muller, "The Greening of Logistics", *Distribution* (enero de 1991), pág. 32.

ciones, como regulaciones gubernamentales que hacen que la logística para un producto sea más costosa debido a la extensión de los canales de distribución.

Ejemplo

En Alemania, el gobierno requiere que las tiendas de minoristas recolecten las cajas de los cereales en el punto de venta. Lo normal es que los consumidores paguen por el producto, luego abran la caja y vacíen el contenido en recipientes que llevan desde casa, y después coloquen las cajas vacías en los contenedores de recolección. El vendedor tiene la responsabilidad de la recuperación de los materiales expedidos, de su reembalaje y reutilización, o bien de su eliminación.[28]

La logística de los negocios y la cadena de suministros en la empresa

La tradición en muchas empresas ha sido que su organización gire alrededor de las funciones de marketing y de producción. Típicamente, marketing significa vender algo y producción significa hacer algo. Aunque pocos hombres de negocios estarían de acuerdo en que su organización fuese tan simple, el hecho estriba en que muchos negocios enfatizan estas funciones mientras tratan otras actividades, como tráfico, compras, contabilidad e ingeniería como áreas de apoyo. Dicha actitud se justifica en cierto grado, porque si los productos de una empresa no pueden producirse y venderse, lo demás poco importa. Sin embargo, tal patrón es peligrosamente simple para que muchas empresas lo sigan, a la vez que fallan en reconocer la importancia de las actividades que deben tener lugar entre los puntos y tiempos de la producción o compra, y los puntos y momentos de la demanda. Estas son las actividades de la logística, y afectan la eficiencia y la eficacia, tanto del marketing como de la producción.

Ejemplo

General Motors (GM) espera que al mejorar su servicio al cliente impulsará las ventas de Cadillac, las cuales se han reducido, ya que los compradores cambian a otros automóviles estadounidenses o importados. Cadillac pierde ventas importantes cuando los clientes se desaniman debido a los largos tiempos de espera para su entrega. La investigación muestra que de 10 a 11% de las ventas se pierden simplemente porque los automóviles no están disponibles de manera oportuna.

Se probó un programa de producción y distribución en Florida, un mercado importante para los Cadillac. Bajo el auspicio de este programa, se enviaron unos 1,500 Cadillac a un centro de distribución regional en Orlando, Florida, donde se entregarían a los concesionarios de todo el estado en 24 horas. En algunas áreas de Florida, muchos compradores esperan dos días por los automóviles equipados de serie. Además, la fábrica de Cadillac de General Motors, en Detroit, incrementó la producción de Cadillac especialmente ordenados, además de reducir su tiempo de embarque. Los Cadillac "a la medida"

[28] "European Logistics Changes Sharply", *American Shipper* (mayo de 1993), pág. 66.

llegaban a los concesionarios en unas tres semanas, en comparación con las ocho o 12 semanas de antes. Bajo este programa, GM esperaba que los inventarios de los concesionarios descendieran 50 por ciento.[29]

Estudiantes y docentes, tanto de marketing como de producción, no han negado la importancia de la logística. De hecho, cada área considera la logística dentro de su área de acción. Por ejemplo, la siguiente definición de dirección de marketing incluye la distribución física:

> Marketing (dirección de) es el proceso de planear y ejecutar la concepción, fijación de precios, promoción y distribución de ideas, bienes y servicios para crear intercambios con grupos objetivo que satisfagan los objetivos individuales y de organización.[30]

La preocupación del marketing es colocar sus productos o servicios en canales de distribución convenientes para facilitar el proceso de intercambio. El concepto de dirección de producción y operaciones a menudo incluye actividades logísticas. Por ejemplo, "la dirección de operaciones tiene la responsabilidad de la producción y la entrega de bienes físicos y servicios".[31] Producción y operaciones, por otra parte, parecen estar más interesadas en esas actividades que afectan de manera directa a la manufactura, y en su principal objetivo de producir al costo unitario más bajo. Ahora, si se consideran las actividades de flujo de producto como un proceso que debe ser coordinado, los aspectos del flujo del producto dentro del marketing, la producción y la logística son dirigidas en forma colectiva para alcanzar los objetivos de servicio al cliente.

La diferencia de los objetivos de operación (maximizar ingresos frente a minimizar costos) para marketing y producción/operaciones puede llevar a una fragmentación de intereses en las actividades logísticas, y de su responsabilidad, así como a una falta de coordinación entre las actividades de la logística como un todo. Esto, a su vez, puede llevar a niveles más bajos de servicio al cliente o a costos logísticos totales más altos de lo necesario. La logística de los negocios representa un reagrupamiento, ya sea conceptual en la mente de la dirección o en la estructura convencional de la organización, de las actividades de movimiento-almacenamiento que históricamente han estado de manera parcial bajo el control del marketing y de la producción y las operaciones.

Si las actividades de la logística son consideradas como un área separada de la acción gerencial, la relación de las actividades de la logística con las de marketing y producción/operaciones sería tal como se muestra en la figura 1-7. Marketing sería principalmente responsable de la investigación de mercados, promoción, dirección de la fuerza de ventas y de la mezcla de productos, lo que crea valor de posesión en el producto. Producción/operación se ocuparía de la creación del producto o servicio, lo que crea valor de forma al producto. Las responsabilidades clave serían control de calidad, planeación de produc-

[29] *Wall Street Journal*, 16 de agosto de 1994, A5.
[30] Definición aprobada por la American Marketing Association según se redactó en Philip Kotler, *Marketing Management: Planning, Analysis, Implementation, and Control*, 10a. ed. (Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 2000), pág. 13.
[31] John O. McClain y L. Joseph Thomas, *Operations Management: Production of Goods and Services*, 2a. ed. (Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 1985), pág. 14.

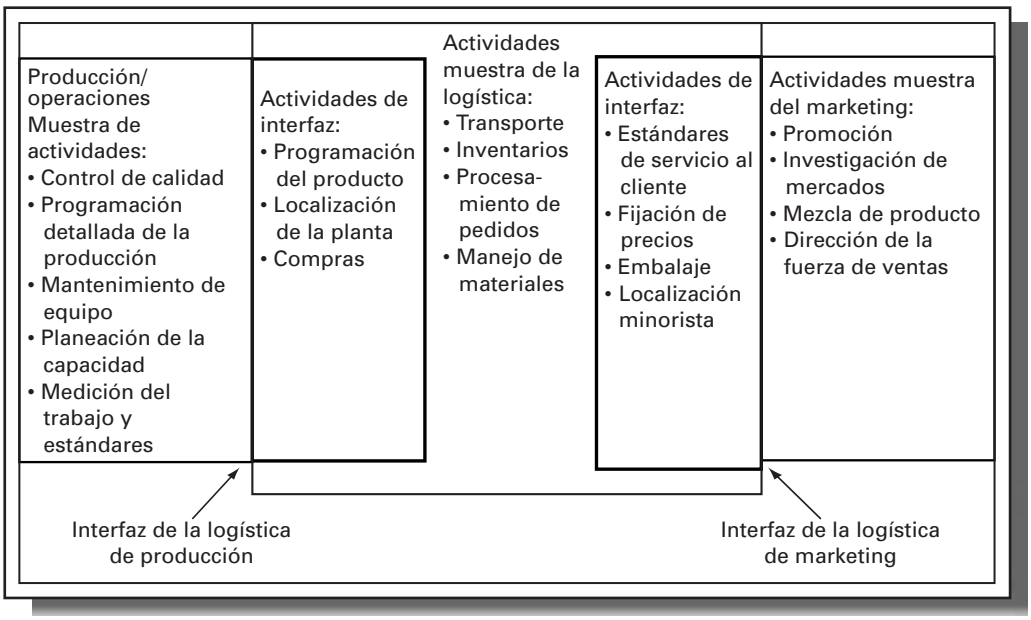
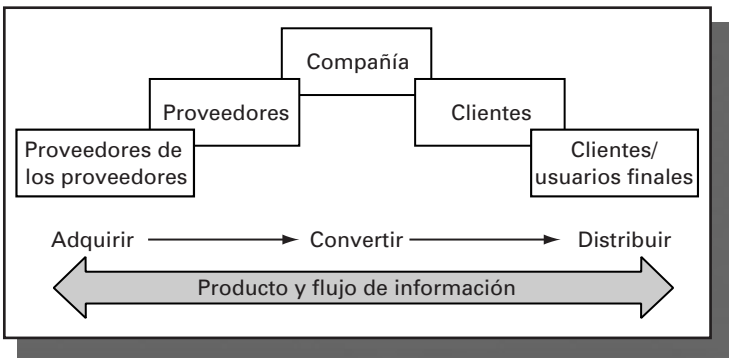


Figura 1-7 Interfaces de la logística y la cadena de suministros con marketing y producción.

ción y programación, diseño de puestos de trabajo, planeación de la capacidad, mantenimiento y medidas de trabajo y estándares. La logística se ocuparía de esas actividades (previamente definidas) que dan a un producto o servicio valores de tiempo y lugar. Esta separación de las actividades de una empresa en tres grupos en vez de dos no siempre es necesaria o conveniente para lograr la coordinación que se busca de las actividades logísticas. Marketing y producción/operaciones, cuando están claramente concebidas y coordinadas, pueden dirigir de manera eficaz las actividades logísticas sin crear una entidad organizacional adicional. Incluso si se crea un área funcional separada para la logística dentro de la empresa con el fin de alcanzar un control efectivo de las actividades logísticas inmediatas de la empresa, los responsables de la logística necesitarán ver su responsabilidad como una forma de coordinar todo el proceso de la cadena de suministros, más que ser sólo el director de las actividades logísticas locales. Hacerlo de otra manera puede echar a perder oportunidades sustanciales para la reducción de costos y la mejora de la logística del servicio al cliente.

La figura 1-7 también muestra actividades que están en la interfaz del marketing y la logística, y de la producción/operaciones y la logística dentro de la empresa directa. Una actividad de interfaz es la que no puede ser dirigida efectivamente dentro de un área funcional. La interfaz se crea por la separación arbitraria de las actividades de una empresa en un número limitado de áreas funcionales. Dirigir las actividades de interfaz para una sola función puede llevar a un desempeño subóptimo para la empresa, por subordinar objetivos más amplios de la compañía a objetivos funcionales individuales: un peligro potencial que resulta de la forma departamental de la estructura de la organización, tan común hoy en día en las compañías. Para lograr una coordinación interfuncional se necesita establecer algún sistema de medición e incentivos para lograr la cooperación entre las funciones in-

Figura 1-8
Alcance de la moderna cadena de suministros.



volucradas. Esto es igualmente cierto para la coordinación entre organizaciones, necesaria para administrar flujos de productos a través de las fronteras de la compañía.

Es importante hacer notar, sin embargo, que establecer un tercer grupo funcional puede tener desventajas. Ahora existen dos interfaces funcionales donde antes sólo existía una entre marketing y producción/operaciones. Algunos de los problemas administrativos más difíciles surgen de los conflictos interfuncionales que ocurren cuando se está intentando administrar actividades de interfaz. Algunos problemas de este conflicto potencial pueden disiparse si se crea un nuevo acuerdo organizacional mediante el cual producción/operaciones y logística se van desvaneciendo gradualmente en un grupo llamado cadena de suministros.

Precisamente, cuando los administradores están comenzando a entender los beneficios de la administración logística entre funciones, la administración inter-organizacional se está fortaleciendo. Los defensores de la dirección de la cadena de suministros que ven el área más ampliamente que algunos responsables de la logística han estado promoviendo con gran fuerza la necesidad de colaboración entre los miembros del canal de suministros que están fuera del control inmediato del gerente de logística de una compañía, es decir, los miembros que son legalmente compañías separadas. Es esencial la colaboración entre los miembros del canal vinculados mediante relaciones comprador-vendedor para alcanzar los beneficios costo-servicio, imposibles de lograrse por los gerentes con una vista interna rígida de sus responsabilidades. Los directores de la cadena de suministros se consideran a sí mismos con la responsabilidad sobre todos los canales de suministros, tal como se ilustra en la figura 1-8. Dirigir en este ambiente más amplio es el nuevo reto para el gerente de logística contemporánea.

OBJETIVOS DE LA LOGÍSTICA DE LOS NEGOCIOS Y DE LA CADENA DE SUMINISTROS

En la amplitud de los objetivos de una compañía, el gerente de logística de los negocios busca alcanzar los objetivos del proceso del canal de suministros que llevará a la empresa hacia sus objetivos generales. En concreto, el deseo es desarrollar una mezcla de actividades de logística que redundará en el mayor rendimiento sobre la inversión posible con el tiempo. Hay dos dimensiones para este objetivo: 1) el impacto del diseño del sistema de logística en la contribución de los ingresos, y 2) el costo de operación y los requerimientos de capital para ese diseño.

Idealmente, el gerente de logística debería saber cuántos ingresos adicionales se generarán mediante el aumento de las mejoras en la calidad del servicio suministrado al cliente. Sin embargo, dichos ingresos por lo general no se conocen con gran precisión. A menudo, el nivel de servicio al cliente se fija en un valor objetivo, normalmente uno que sea admisible para los clientes, la función de ventas u otras partes relacionadas. En este punto, el objetivo de la logística puede ser el de minimizar los costos sujetos a lograr el nivel de servicio deseado, en vez de aumentar al máximo las utilidades o el rendimiento sobre la inversión.

A diferencia de los ingresos, los costos de la logística pueden ser determinados por lo general con tanta precisión como lo permite la práctica contable, y suelen ser de dos tipos: costos de operación y costos de capital. Los costos de operación son aquellos que recurren periódicamente o aquellos que fluctúan en forma directa con la variación de los niveles de actividad. Salarios, gastos de almacenamiento público y administrativos, y algunos otros gastos de fabricación o indirectos son ejemplos de costos de operación. Los costos de capital son los gastos que se realizan de una vez y que no cambian con las variaciones normales de los niveles de actividad. Aquí los ejemplos son la inversión en una flota privada de camiones, el costo de construcción de un almacén para la compañía y la compra de equipo para el manejo de materiales.

Si se asume que hay conocimiento del efecto de los niveles de actividad logística en los ingresos de la empresa, un objetivo financiero factible para la logística puede expresarse en la relación conocida como ROLA *(return on logistics assets*, rendimiento sobre los activos logísticos). ROLA se define como:

$$\text{ROLA} = \frac{\text{Contribución al ingreso} - \text{costos de operación logística}}{\text{Activos logísticos}}$$

La contribución al ingreso se refiere a las ventas resultantes del diseño del sistema de logística. Los costos de operación logística son los gastos incurridos para suministrar el nivel necesario de servicio logístico al cliente para generar ventas. Los activos logísticos son las inversiones de capital hechas en el sistema logístico. ROLA ha de aumentarse al máximo con el tiempo.

Si el valor del dinero es alto, sacar el máximo provecho del valor presente de los flujos de efectivo o sacar el máximo provecho del porcentaje de devolución interno es una declaración más apropiada del objetivo. Sacar con el tiempo el máximo provecho del rendimiento acumulado sobre la inversión es el objetivo sencillo más importante para asegurar a la empresa una larga carrera de supervivencia.

Método para el estudio de la logística y de la cadena de suministros

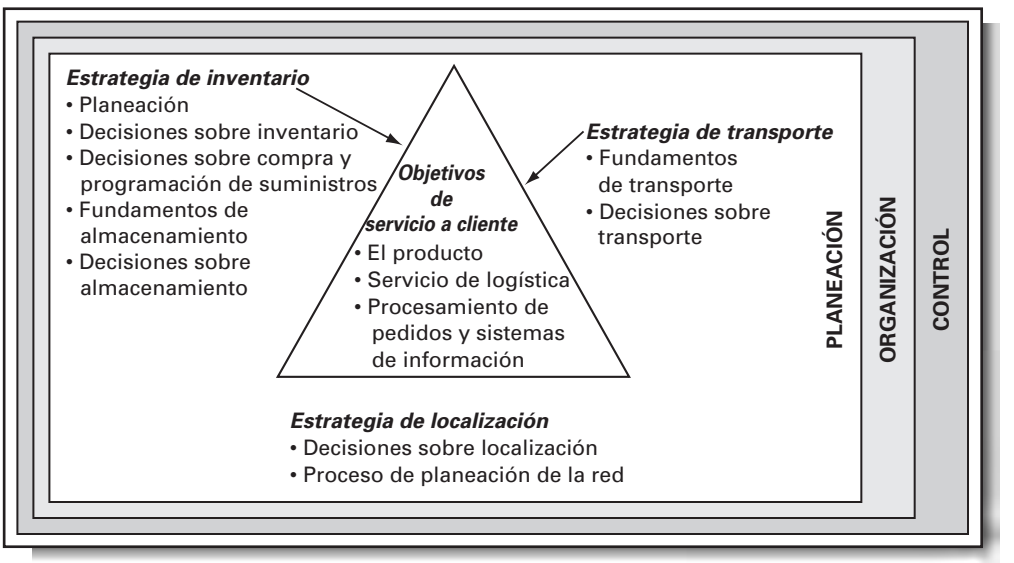
Ahora que se ha dado la información básica de la definición y la importancia, podemos comenzar el estudio de la dirección de la logística de manera sistemática. Se usan dos temas en este texto, mediante los cuales se examina lo que hace la gerencia y las habilidades necesarias para realizarlo en un mundo técnicamente complejo. Primero, el trabajo de la dirección puede ser considerado como la realización de las tareas de planear, organizar y controlar para lograr los objetivos de la empresa. *Planear* se refiere a decidir sobre los objetivos de la empresa; *organizar,* a juntar y acomodar los recursos de la empresa para alcanzar sus objetivos, y *controlar* se refiere a medir el desempeño de la compañía y tomar las acciones correctivas cuando dicho desempeño no esté en línea con los objetivos. Dado

que cada uno de ellos es importante para lo que hace la dirección, serán comentados en los diferentes capítulos de este libro.

Segundo, los gerentes, tanto de nivel básico como de alto nivel, pasan gran parte del tiempo en la actividad de planeación. Para hacer una planeación efectiva es útil tener una visión de los objetivos de la empresa, tener los conceptos y principios para guiarse sobre cómo llegar hasta ahí, y tener las herramientas que ayuden a seleccionar entre diferentes cursos de acción. Específicamente en la dirección logística, la planeación forma un triángulo importante de decisiones sobre localización, inventario y transporte, y el servicio al cliente es el resultado de estas decisiones (véase figura 1-9). Aunque el triángulo de la planeación de la logística es el tema de la organización fundamental de este libro, también se comentarán aspectos adicionales relacionados con él. Se inicia con la visión general de una estrategia para la planeación logística y los sistemas de información y tecnología que apoyan dicha estrategia. Sigue un capítulo acerca del cliente, a quien se dirigen todas las tomas de decisiones de la logística. Se incluyen capítulos que cubren el transporte, la localización y el inventario, que son las piedras angulares del triángulo de planeación logística. Finalmente, capítulos sobre la organización y el control de los temas de planeación, organización y control. Son importantes los temas contemporáneos, como logística global, logística de la industria de servicios, calidad, logística de colaboración y logística inversa, pero son reconocidos como extensiones de las ideas básicas presentadas en el texto. Por lo tanto, sus comentarios están integrados a lo largo del texto. Se dan numerosos ejemplos para ilustrar cómo se aplican los conceptos y las herramientas para la buena administración logística y de la cadena de suministros a los problemas que se encuentran actualmente en el mundo real.

Desde los puntos de vista de costos, de valor para los clientes o de importancia estratégica para la misión de una empresa, es vital la logística y la cadena de suministro. Sin embargo, sólo en los últimos años los negocios han empezado a aplicar en mayor escala

Figura 1-9 El triángulo de la planeación en relación a las principales actividades de logística/administración de la cadena de suministros



las actividades de la cadena de suministros de manera integrada, es decir, pensando en los productos y servicios que fluyen con claridad desde las fuentes de materias primas hasta los consumidores finales. Más aún, en los últimos tiempos ese flujo tendrá que incluir movimientos en sentido inverso en el canal de suministros o de logística inversa. Las fuerzas de la economía (principalmente incrementadas por la desregulación a nivel mundial de los negocios, la proliferación de los tratados de libre comercio, la creciente competencia extranjera, el incremento de la globalización de las industrias y los crecientes requerimientos para un desempeño logístico más rápido y certero) han sido útiles para elevar la logística a un alto nivel de importancia en muchas empresas. Las nuevas oportunidades para la dirección de la logística surgidas por el crecimiento del sector de servicios, asuntos ambientales y tecnología de la información, continuarán apoyando la naturaleza vital de la logística durante muchos años más.

El énfasis fundamental de este texto está dirigido a que las empresas traten con efectividad los problemas administrativos relacionados con el movimiento y el almacenamiento de los bienes a lo largo de la cadena de suministros. Estas empresas pueden producir bienes o servicios que tendrán como objetivo conseguir utilidades.

Este libro está organizado alrededor de las tres tareas fundamentales de la administración: planear, organizar y controlar. Normalmente, lo más difícil de las tres es la planeación, es decir, la identificación de diferentes cursos de acción y la selección entre ellos. Por lo tanto, se da mayor énfasis a esta fase de la administración. Es la intención describir los problemas de logística de la manera más sencilla posible y aplicar la metodología final para resolverlos, metodología que ha probado ser de valor práctico en aplicaciones reales. Es un enfoque de toma de decisiones.

Preguntas y problemas

1. ¿Qué es la dirección de la cadena de suministros? Compárela con la dirección de la logística de los negocios.
2. Describa la logística de los negocios, tal y como esperaría que se practicara en los siguientes países o regiones:
   a. Estados Unidos
   b. Japón
   c. Unión Europea
   d. Australia
   e. Sudáfrica
   f. China
   g. Brasil
3. Resuma los factores y las fuerzas que dan importancia a la logística entre las otras áreas funcionales (marketing, finanzas, producción) de una empresa.
4. Comente las semejanzas y diferencias entre la administración de la logística de una empresa manufacturera y
   a. una empresa de servicios (banco, hospital, etc.)
   b. una organización no lucrativa (orquesta sinfónica, museo de arte, etc.)
   c. la industria militar
   d. una empresa minorista (mercancía general, comida rápida, etc.)
5. Comente el papel que los sistemas de logística efectiva y eficiente juegan para fomentar un alto nivel de comercio extranjero.

6. ¿Por qué marketing y producción pueden reclamar que algunas o todas las actividades de la logística son parte de su área de responsabilidad?
7. ¿Cuáles son las actividades clave de la función de la logística de los negocios? Comente su existencia e importancia para la administración de
   a. un fabricante de aparatos de televisión (Sony)
   b. un grupo musical de gira (Berliner Philharmonik)
   c. un hospital (Massachusetts General)
   d. el gobierno de una ciudad (ciudad de Nueva York)
   e. una cadena de comida rápida (McDonald's)
8. ¿En qué cree que se diferencia la logística internacional de la logística de una empresa con operaciones globales?
9. Sugiera algunos productos que se beneficien significativamente de un aumento del valor de tiempo y lugar.
10. Establecer la logística como un área separada de la dirección dentro de una empresa de negocios crea un conjunto adicional de actividades de interfaz. ¿Qué son las actividades de interfaz? ¿Por qué causaría preocupación en la mayor parte de las compañías la creación de un conjunto adicional de actividades de interfaz?
11. Las barreras políticas y económicas siguen cayendo entre algunos países de la Unión Europea. Si usted fuera el director de distribución física para una compañía multinacional que vende en su propio país bienes terminados al consumidor (por ejemplo, Procter & Gamble de Italia), ¿a qué decisiones de distribución se enfrentará en el futuro?
12. Suponga que un fabricante de camisetas para hombre puede producir una camisa de vestir en su planta de Houston, Texas, a $8 por camisa (incluyendo el costo de la materia prima). Chicago es un mercado importante con 100,000 camisas al año. La camisa tiene un precio de $15 en la planta de Houston. Los cargos de transporte y de almacenamiento desde Houston a Chicago son de $5 por quintal. Cada camisa empacada pesa una libra.

    Como alternativa, la compañía puede tener las camisas producidas en Taiwan a $4 por unidad (incluyendo el costo de la materia prima). La materia prima pesa 1 libra por camisa, y sería embarcada de Houston a Taiwan a un costo de $2 por quintal. Cuando las camisetas estuvieran fabricadas, se embarcarían directamente a Chicago a un costo de transporte y almacenamiento de $6 por quintal. Se grava un derecho de importación de $0.50 por camiseta.
   a. Desde el punto de vista del costo de logística/producción, ¿se deberían producir las camisetas en Taiwán?
   b. ¿Qué otras consideraciones, además de las económicas, podrían tenerse en cuenta antes de tomar una decisión final?
13. Use las siguientes formas como parte de un ejercicio en clase. Prepárese para comentar sus opciones y para compararlas con sus compañeros. Identifique los elementos comunes que hacen que algunas compañías tengan éxito logísticamente y los elementos que faltan (entre otros) y que conducen a fallas logísticas y de la cadena de suministros.

Ejemplos de buenas estrategias de logística y de la cadena de suministros, o de la carencia de éstas

Muchas empresas usan la estrategia de logística y de la cadena de suministros como un elemento central en su estrategia corporativa. Identifique aquellas empresas que han tenido éxito debido a la ejecución de su estrategia logística y de la cadena de suministro y anote por qué considera excelente dicha ejecución (Salón de la Fama). Y a la inversa, identifique aquellas empresas que sufren una ejecución deficiente de una importante estrategia logística y de la cadena de suministros (Salón de la Vergüenza).

1. **Salón de la Fama.** Identifique tres empresas que usen una estrategia de logística y de la cadena de suministros como elemento importante de su estrategia general de negocios.

Salón de la Fama	Elementos de la logística y de la cadena de suministros bien ejecutada

2. **Salón de la Vergüenza.** Identifique tres empresas que hayan fallado en la ejecución de una estrategia de logística y de la cadena de suministros importante para su estrategia general.

Salón de la Vergüenza	Elementos logísticos y de la cadena de suministros que fallaron

3. Desde el punto de vista de la logística y de la cadena de suministros, ¿qué distingue al Salón de la Fama del Salón de la Vergüenza?

Características distinguibles

Capítulo 2

Estrategia y planeación de la logística y de la cadena de suministros

Mientras que en el pasado la distribución física (logística) fue considerada como la última frontera de las economías de costos,[1] ahora es la nueva frontera de la generación de demanda.

En *la obra Alicia en el País de las Maravillas*, Alicia pregunta al gato Cheshire, "¿Podrías decirme, por favor, qué camino deberé tomar desde aquí?" "Eso depende en gran medida de adónde deseas llegar", contestó el gato.[2] La decisión de la dirección estratégica de una compañía para cumplir con sus finanzas, crecimiento, participación de mercado y con otros objetivos es una importante primera consideración para la administración de la empresa. Este es un proceso creativo y visionario que por lo general lo realiza la alta dirección, mediante del cual se delinea la dirección general de una empresa y se traduce a un plan de acción corporativo.

Para las áreas funcionales de la empresa, el plan corporativo luego se divide en subplanes, como el de marketing, producción y logística. Estos subplanes requieren tomar muchas decisiones específicas. Respecto de la cadena de suministros, estas decisiones incluyen la ubicación de almacenes, el establecimiento de políticas de inventarios, el diseño de sistemas de ingreso de pedidos y la selección de las formas de transporte. Muchas de éstas pueden estar apoyadas por la aplicación de distintos conceptos de logística y de técnicas para la toma de decisiones, disponibles para el administrador de la cadena de suministros.

Este capítulo se centra en el proceso de planeación, primero desde la amplia perspectiva corporativa y luego desde el punto de vista de la función logística. Se establecerá un marco para la planeación, que será la base para los capítulos posteriores. En este capítulo, así como en buena parte de este libro, se hará énfasis en la planeación y la toma de

[1] Peter F. Druker, "The Economy's Dark Continent", *Fortune* (abril de 1962), págs. 103, 265-270.
[2] Lewis Carroll, *Alice's Adventures in Wonderland* (Nueva York; Knopf, 1983), pág. 72.

decisiones que dan por resultado adecuados planes de logística y de la cadena de suministros, y que contribuyen a las metas financieras de una empresa.

Estrategia corporativa

La creación de la estrategia corporativa inicia con una clara expresión de los objetivos de la empresa. Ya sea que la compañía persiga objetivos de utilidades, de sobrevivencia, sociales, de rendimiento sobre la inversión, de participación de mercado o de crecimiento, éstos deberán ser bien comprendidos. Posteriormente, es probable que se presente un proceso *visionario* en el cual se consideren estrategias no convencionales, no tomadas en cuenta e incluso que vayan en contra del sentido común. Esto requerirá considerar los cuatro componentes de una buena estrategia: *clientes, proveedores, competidores* y la propia *compañía*. La consideración de las necesidades, fortalezas, debilidades, orientaciones y perspectivas de cada uno de estos componentes es un buen comienzo.[3] Posteriormente, el resultado de este proceso visionario será una lluvia de ideas acerca de las posibles opciones para una estrategia de nicho. A continuación se encuentran ejemplos de tales tipos de visión:

- La visión de General Electric es ser el número uno o dos en cada uno de los mercados que atiende; dejará todo mercado en el que no pueda mantener este estándar.
- Hewlett-Packard visualiza atender a la comunidad científica.
- IBM constantemente se rediseña a sí misma para permanecer como un competidor efectivo.[4]

A continuación, necesitan convertirse las amplias y generales estrategias visionarias a planes que sean más definitivos. Con un claro entendimiento de los costos de la empresa, las fortalezas y debilidades financieras, la posición de participación de mercado, la base y utilización de activos, el ambiente externo, las fuerzas competitivas y las habilidades de los empleados, se realiza una selección entre varias estrategias alternativas, que evoluciona a partir de las amenazas y las oportunidades que enfrenta la empresa. Estas estrategias ahora se convierten en rumbos específicos para la forma en que se hará realidad la visión.

Ejemplos

- Las patentes de las copiadoras Xerox estaban venciendo, lo que significaba que la empresa ya no contaría más con un producto diferenciado dentro del mercado. Por tanto, adoptó la estrategia de ser el número uno en el servicio de campo.
- StarKist Foods adoptó una estrategia del lado del suministro de adquirir y empacar todo el atún que su propia flotilla y sus flotillas contratadas pudieran capturar. Esto le ayudaría a ser el empacador dominante en el negocio del atún.

La estrategia corporativa dirige a las estrategias funcionales debido a que éstas se hallan contenidas dentro de la primera, como se muestra en la figura 2-1. La estrategia corporativa se hace realidad a medida que la manufactura, el marketing, las finanzas y la logís-

[3] Roger Kallock, "Develop a Strategic Outlook", *Transportation and Distribution* (enero de 1989), págs. 16-18.
[4] Kenneth R. Ernst, "Visioning: Key to Effective Strategic Planning", *Annual Conference Proceedings,* Vol. 1 (Boston: Council of Logistics Management, 1988), págs. 153-165.

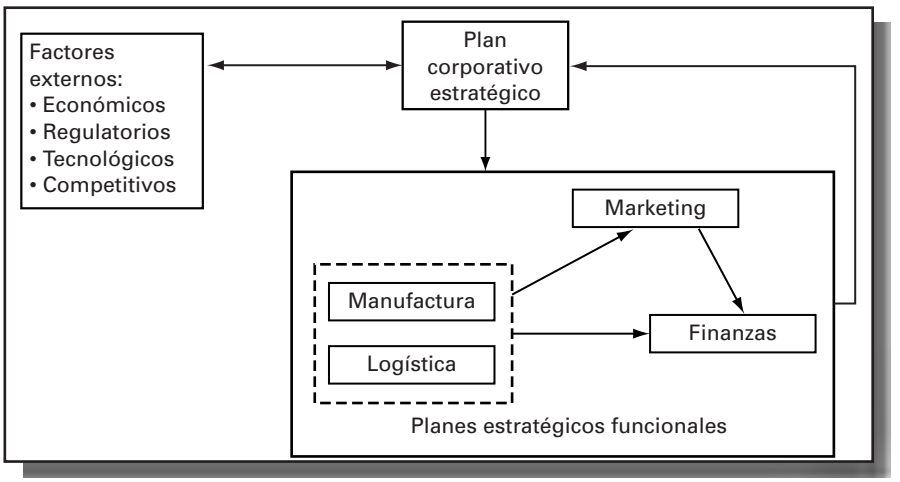


Figura 2-1 Visión general de planeación estratégica corporativa hacia planeación estratégica funcional.

Fuente: William Copacino y Donald B. Rosenfield, "Analytic Tools for Strategic Planning", *International Journal of Physical Distribution and Materials Management*, Vol. 15, Núm. 3 (1985), pág. 48.

tica dan forma a sus planes para lograrla. Cuando StarKist decidió sobre una estrategia del lado del suministro, el marketing y la logística respondieron con su plan para controlar los posibles excesos de inventario que se ocasionarían. Este plan significó poner a la venta el atún para reducir inventarios cuando fuera necesario. El plan funciona debido a que el atún cuenta con tal demanda que los consumidores con frecuencia se surten de éste cuando se encuentra a la venta. Ahora veamos la forma específica como se desarrollan las estrategias logísticas.

Estrategia de la logística y de la cadena de suministros

La selección de una adecuada estrategia logística y de la cadena de suministros requiere algo del mismo proceso creativo necesario para desarrollar una adecuada estrategia corporativa. Los enfoques innovadores en la estrategia logística y de la cadena de suministros pueden representar una ventaja competitiva.

Ejemplos

- Una compañía de máquinas de oficina dio un paso trascendental para ahorrar tiempo valioso de reparación de máquinas. Tradicionalmente, se enviaban los técnicos de reparación por parte de un centro de servicio central al lugar de reparación del cliente. Este personal altamente capacitado y costoso invertía buena parte de su tiempo viajando hacia esos lugares y de regreso. La compañía rediseñó su sistema logístico de manera que se colocaron inventarios de máquinas en renta y de reemplazo en centros de servicio alrededor del país. Cuando una máquina se decompo-

nía, se enviaría una máquina de reemplazo al cliente y la máquina averiada se enviaría al centro de servicio para reparación. El nuevo sistema no solo ahorró costos de reparación, sino también ofreció un mejor servicio al cliente.
- American Hospital Supply (suministros hospitalarios) desarrolló un eficiente sistema de compras para sus clientes al instalar terminales en cada una de las oficinas de sus clientes. El sistema simplificó y facilitó el proceso de levantamiento de pedidos para sus clientes y garantizó una mayor proporción de pedidos para American Hospital Supply.[5]

Se ha dicho que una estrategia logística cuenta con tres objetivos: reducción de costos, reducción de capital y mejora del servicio.

La *reducción de costos* es una estrategia dirigida hacia lograr minimizar los costos variables asociados con el desplazamiento y el almacenamiento. La mejor estrategia por lo general es formulada al evaluar líneas de acción alternativas, como la selección entre diferentes ubicaciones de almacén o la selección entre modos de transporte alternativos. Los niveles de servicio por lo general se mantienen constantes mientras se buscan las alternativas de mínimo costo. La maximización de utilidades es el objetivo principal.

La *reducción de capital* es una estrategia dirigida hacia la minimización del nivel de inversión en el sistema logístico. La maximización del rendimiento sobre los activos logísticos es la motivación detrás de esta estrategia. El envío directo a los clientes para evitar almacenamiento, la elección de almacenes públicos sobre almacenes privados, la selección de un enfoque de abastecimiento justo a tiempo en vez de almacenar para inventarios, o la utilización de proveedores externos de servicios logísticos son ejemplos de ello. Estas estrategias pueden dar por resultado costos variables más altos que en estrategias que requieren mayor nivel de inversión; sin embargo, el rendimiento sobre la inversión puede incrementarse.

Las estrategias de *mejora del servicio* por lo general reconocen que los ingresos dependen del nivel proporcionado del servicio de logística. Aunque los costos se incrementan rápidamente ante mayores niveles de servicio logístico al cliente, los mayores ingresos pueden compensar a los mayores costos. Para que sea efectiva, la estrategia de servicio se desarrolla en contraste con la ofrecida por la competencia.

Ejemplo

La empresa Parker Hannifin, fabricante de sellos y juntas, obtuvo mayores ventas con un mejor servicio al cliente por logística. El agente de compras de un cliente mostró al vendedor de Parker Hannifin dos facturas del mismo producto, una de un competidor y la otra de Parker Hannifin. El precio del competidor era 8% menor. Sin embargo, si Parker Hannifin mantenía un centro de servicio (un punto de abastecimiento de inventarios con servicios de valor añadido) para el cliente, entonces Parker Hannifin ganaría un negocio de cerca de un millón de dólares a este precio más alto. La empresa accedió y estableció el centro, obteniendo el contrato. El cliente estuvo satisfecho y Parker Hannifin obtuvo una utilidad, dado que el centro de servicio ¡costó el 3.5% de la venta!

[5] William Copacino y Donald B. Rosenfield, "Analytic Tools for Strategic Planning", *International Journal of Physical Distribution and Materials Management*, Vol. 15, Núm. 3 (1985), págs. 47-61.

Una estrategia práctica de logística por lo general comienza con las metas del negocio y con los requerimientos de servicio del cliente. Éstas se denominan estrategias de "ataque" para enfrentar la competencia. El resto del diseño del sistema de logística puede derivarse de estas estrategias de ataque.

Ejemplos

- Nabisco imperaba cómodamente como rey de las salsas para carne con su marca A-1. Posteriormente, Kraft surgió con una versión más condimentada llamada Bulls Eye. Este movimiento competitivo por parte de Kraft amenazó la franquicia de Nabisco, quien respondió con una versión de A-1 más intensa, forzando su cadena de suministros a sobremarcha para que esta versión se encontrara en los anaqueles de las tiendas en cuestión de meses. Nabisco tuvo éxito al enfrentar a Bulls Eye y desplazarla del mercado. Sin la rápida respuesta de la cadena de suministros de Nabisco, Bulls Eye, que era un muy buen producto, habría tenido tiempo de tomar participación en el mercado.[6]
- Domino Pizza es sólo uno de muchos participantes en el mercado de la pizza, con competidores como Pizza Hut así como un ejército de operaciones independientes al menudeo. Sin embargo, se ha convertido en la segunda cadena de pizza más grande de Estados Unidos al prometer a los clientes un descuento de $3 USD en todo producto que no sea entregado dentro de los 30 minutos posteriores al momento de su orden.[7]
- Frito-Lay desarrolló una ventaja estratégica con su sistema de entrega directo a la tienda, y Atlas Door descubrió que ninguna compañía dentro del negocio de puertas industriales podía entregar una puerta a un cliente en menos de tres meses. Atlas se decidió y desarrolló una estrategia basada en la entrega de una puerta en mucho menos tiempo, y ahora disfruta de una participación de mercado importante.[8]

Cada eslabón dentro del sistema logístico se planea y se balancea, respecto de los demás, en un proceso de planeación logística integrada (ver figura 2-2). El diseño de la administración y los sistemas de control completan el ciclo de planeación.

El diseño de estrategias efectivas de servicio al cliente mediante logística no requiere un programa o una técnica particular. Simplemente se trata del resultado de una mente aguda. Una vez que se ha formulado la estrategia de servicio logístico, la labor será entonces lograrla. Esto implica la selección entre diversas líneas de acción alternativas. Tal selección es asequible a distintos conceptos y técnicas para su análisis. La siguiente sección establece el escenario para tal evaluación. Un tema recurrente a lo largo de este libro será el entendimiento de las alternativas logísticas abiertas al gerente de la cadena de suministros y la forma como pueden ser evaluadas.

[6] J. Robert Hall, "Supply Chain Management form a CEO's Perspective", *Proceedings of the Council of Logistics Management* (San Diego, CA: 8-11 de octubre de 1995), pág. 164.
[7] "How Managers Can Succed Through SPEED", *Fortune* (13 de febrero de 1989), págs. 54-59.
[8] Ernst, "Visioning", págs. 153-165.

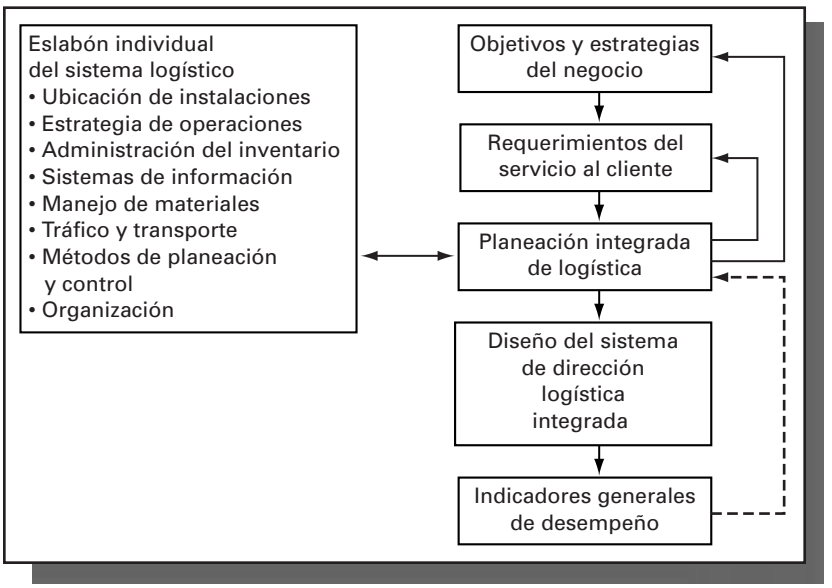


Figura 2-2 Flujo de la planeación logística.

Fuente: William Copacino y Donald B. Rosenfield, "Analytic Tools for Strategic Planning", *International Journal of Physical Distribution and Materials Management*, Vol. 15, Núm. 3 (1985), pág. 49.

PLANEACIÓN DE LA LOGÍSTICA Y DE LA CADENA DE SUMINISTROS

Niveles de planeación

La planeación logística trata de responder las preguntas qué, cuándo y cómo, y tiene lugar en tres niveles: estratégica, táctica y operativa. La principal diferencia entre ellas es el horizonte de tiempo para la planeación. La *planeación estratégica* se considera de largo alcance, donde el horizonte de tiempo es mayor de un año. La *planeación táctica* implica un horizonte de tiempo intermedio, por lo general menor de un año. La *planeación operativa* es una toma de decisiones de corto alcance, con decisiones que con frecuencia se toman sobre la base de cada hora o a diario. La cuestión es cómo mover el producto de manera efectiva y eficiente a través del canal de logística estratégicamente planeado. En la tabla 2-1 se muestran ejemplos seleccionados de problemas comunes con estos distintos horizontes de tiempos de planeación.

Cada nivel de planeación requiere una perspectiva diferente. Debido a su largo horizonte de tiempo, la planeación estratégica trabaja con información que por lo general está incompleta o es imprecisa. Los datos pueden ser promedios, y los planes con frecuencia se consideran como suficientemente adecuados si se encuentran bastante cercanos a lo óptimo. En el otro extremo del espectro, la planeación operativa trabaja con información muy precisa, y los métodos de planeación deberán ser capaces de manejar una gran cantidad de esta información y aun así obtener planes razonables. Por ejemplo, podemos pla-

	Nivel de decisión		
Área de decisión	Estratégica	Táctica	Operativa
Ubicación de instalaciones	Número, tamaño y ubicación de almacenes, plantas y terminales		
Inventarios	Ubicación de inventarios y políticas de control	Niveles de inventario de seguridad	Cantidades y tiempos de reabastecimiento
Transportación	Selección del modo	Arrendamiento estacional de equipo	Asignación de ruta, despacho
Procesamiento de pedidos	Ingreso de pedidos, transmisión y diseño del sistema de procesamiento		Procesamiento de pedidos, cumplimiento de pedidos atrasados
Servicio al cliente	Establecimiento de estándares	Reglas de prioridad para pedidos de clientes	Aceleración de entregas
Almacenamiento	Manejo de la selección de equipo, diseño de la distribución	Opciones de espacio estacional y utilización de espacio privado	Selección de pedidos y reaprovisionamiento
Compras	Desarrollo de relaciones proveedor-comprador	Contratación, selección de vendedor, compras adelantadas	Liberación de pedidos y aceleración de suministros

Tabla 2-1 Ejemplos de toma de decisiones estratégicas, tácticas y operativas

near estratégicamente que *todos* los inventarios de la compañía no excedan cierto límite en dólares o que se logre determinado índice de rotación de inventarios[9]. Por otro lado, un plan operativo para inventarios requiere que cada artículo se maneje en forma individual.

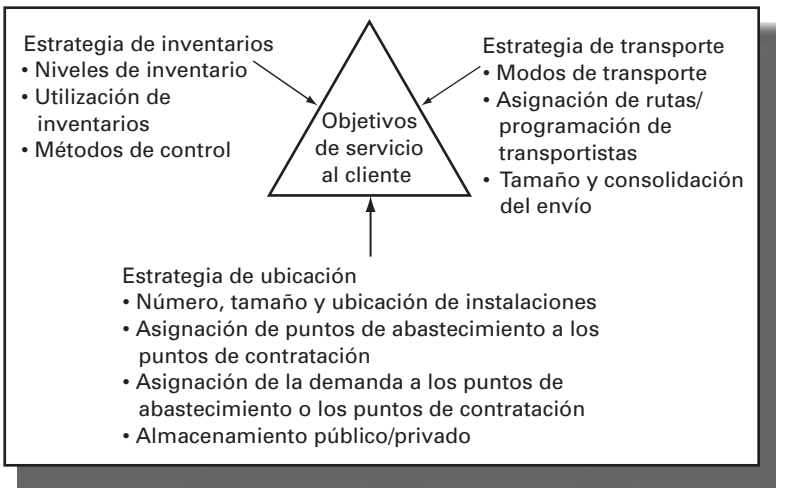
Mucha de nuestra atención se dirigirá hacia la planeación estratégica logística, dado que puede ser analizada utilizando un método general. La planeación operativa y táctica por lo general requiere conocimiento íntimo del problema en particular, y los métodos específicos deben adaptarse a la medida. Debido a esto, comenzaremos con el principal problema de planeación logística, que es el diseño del sistema logístico general.

Principales áreas de planeación

La planeación logística aborda cuatro áreas principales de problemas: niveles de servicio al cliente, ubicación de instalaciones, decisiones de inventario y decisiones de transportación, como se muestra en la figura 2-3. Exceptuando el establecimiento de un nivel deseado de servicio al cliente (el servicio al cliente es resultado de las estrategias formuladas en las otras tres áreas), la planeación logística puede denominarse como un triángulo de toma de decisiones de logística. Estas áreas de problemas se interrelacionan y deberán ser planeadas como una unidad, aunque es común planearlas en forma independiente. Cada una de ellas ejerce un impacto importante sobre el diseño del sistema.

[9] El índice de rotación de inventarios se define como la proporción de las ventas anuales al nivel promedio de inventario para el mismo periodo anual, por lo general en unidades monetarias.

Figura 2-3
Triángulo de la toma de decisiones logísticas.



Objetivos de servicio al cliente

En mayor medida que cualquier otro factor, el nivel proporcionado de servicio logístico al cliente afectará en forma notable el diseño del sistema. Los bajos niveles de servicio permiten inventarios centralizados en sólo unas cuantas ubicaciones y también permiten el uso de formas de transporte menos costosas. Los altos niveles de servicio por lo general requieren justamente lo contrario. Sin embargo, cuando se presionan los niveles hacia sus límites superiores, los costos de logística se elevarán a una razón desproporcionada con respecto del nivel de servicio. Por ello, la primera preocupación en la planeación estratégica de logística deberá ser el adecuado establecimiento de los niveles de servicio al cliente.

Estrategia de ubicación de instalaciones

La disposición geográfica de los puntos de abastecimiento y de sus puntos de contratación crea un bosquejo para el plan de logística. El establecimiento del número, ubicación y tamaño de las instalaciones y la asignación de la demanda de mercado para ellos determinarán las rutas por medio de las cuales se dirigirán los productos al mercado. El ámbito adecuado para el problema de ubicación de instalaciones es incluir todos los movimientos de producto y sus costos asociados a medida que éstos se presentan, desde las ubicaciones de la planta, proveedor, o puerto a través de los puntos de almacenamiento intermedio y hacia las ubicaciones del cliente. La asignación de la demanda que se atenderá directamente desde las plantas, proveedores y puertos o el direccionamiento de ella a través de puntos de abastecimiento seleccionados, afectará los costos de distribución totales. La búsqueda de asignaciones de costos más bajos, o en forma alternativa, las asignaciones de utilidad máxima, son la esencia de la estrategia de ubicación de instalaciones.

Decisiones de inventario

Las decisiones de inventario se refieren a la forma en que se manejan los inventarios. La asignación de inventarios (entrada) a los puntos de almacenamiento contra la salida (pulling) hacia los puntos de almacenamiento mediante reglas de reabastecimiento de inventario, representan dos estrategias. La ubicación selectiva de distintos artículos en la línea de producción en los almacenes de planta, regionales o de campo, o la administración de los niveles de inventario mediante el uso de distintos métodos de control de inventario

perpetuo, son otras estrategias. La política particular utilizada por la empresa afectará la decisión de ubicación de instalaciones, y por tanto esta política deberá ser considerada en la estrategia de logística.

Estrategia de transporte

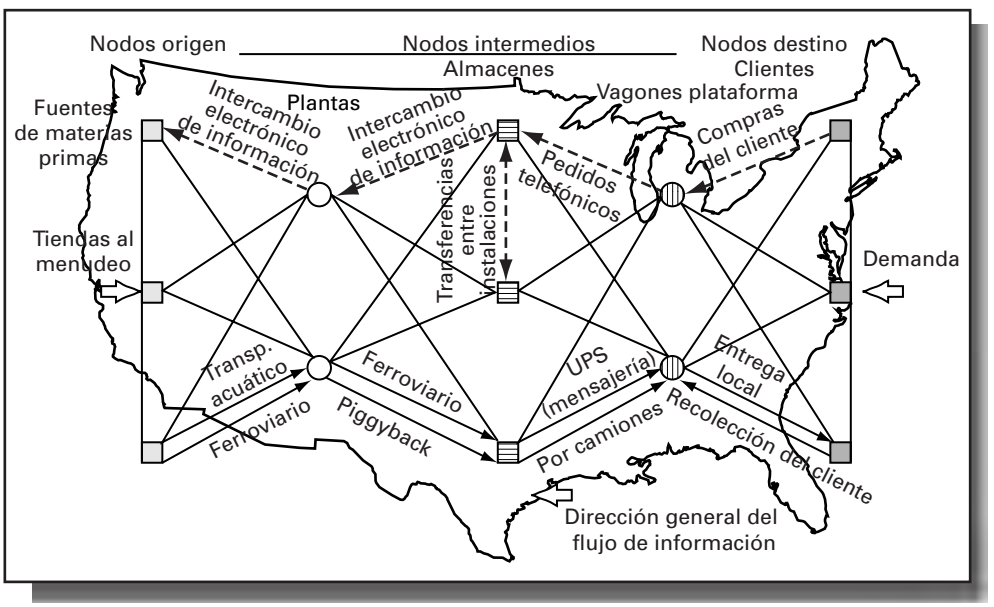
Las decisiones de transporte pueden incluir la selección del modo de transporte, el tamaño del envío y al establecimiento de rutas, así como la programación. Estas decisiones son influidas por la proximidad de los almacenes a los clientes y a las plantas, lo cual, a su vez, afecta la ubicación de almacenes. Los niveles de inventario también responden a las decisiones de transporte mediante el tamaño del envío.

Los niveles de servicio al cliente, la localización de las instalaciones, el inventario y la transportación son las principales áreas de la planeación, debido al impacto que tienen las decisiones en estas áreas sobre las utilidades de la empresa, el flujo de efectivo y las reinversiones. Cada área de decisión se interrelaciona y la estrategia de transporte debe planearse al menos con cierta consideración de equilibrio.

Conceptualización del problema de planeación de la logística y de la cadena de suministros

Otra forma de ver el problema de planeación de la logística es observarlo en lo abstracto, como una red de *eslabones* y *nodos*, según se muestra en la figura 2-4. Los eslabones de la red representan el movimiento de bienes entre distintos puntos de almacenamiento de inventario. Estos puntos de almacenamiento (tiendas al menudeo, almacenes, fábricas o vendedores) son los nodos. Pueden existir varios eslabones entre cualquier par de nodos para representar formas alternativas de servicio de transporte, rutas diferentes y productos distintos. Los nodos representan puntos donde el flujo de inventario se detiene en forma temporal (por ejemplo, en un almacén) antes de desplazarse a una tienda de menudeo o al consumidor final.

Figura 2-4 Diagrama de red simplificada para un sistema de logística.



Estas actividades de movimiento-almacenamiento para los flujos de inventario sólo son una parte del sistema de logística total. Además, existe una red de flujos de información. La información se deriva de los ingresos por ventas, costos de productos, niveles de inventarios, utilización de almacenes, pronósticos, tarifas de transportación y aspectos similares. Los eslabones en la red de información por lo general consisten en los métodos por correo y electrónicos para transmitir la información de un punto geográfico a otro. Los nodos son los distintos puntos de recolección de información y de procesamiento, como el empleado que maneja el procesamiento de pedidos y prepara el conocimiento de embarque,[10] o la computadora que actualiza los registros del inventario.

En concepto, la red de información es muy parecida a la red de flujo de producto, ya que ambas pueden verse como un conjunto de eslabones y nodos. Sin embargo, una diferencia importante en las redes es que el producto principalmente fluye "hacia abajo" en el canal de distribución (hacia el consumidor final), en tanto que la información principalmente, pero no por completo, fluye hacia "arriba" del canal (hacia las fuentes de materias primas).

La red de flujo del producto y la red de información se combinan para formar un sistema de logística. Las redes se encuentran combinadas, ya que el diseño de cada una en forma independiente puede llevar a un diseño del sistema completo por debajo de lo óptimo. Por ello, las redes son dependientes. Por ejemplo, el diseño de la red de información afecta los tiempos de ciclo de pedido para el sistema. Los tiempos de ciclo de pedido, a su vez, afectan a los niveles de inventario que deberán mantenerse en los nodos dentro de la red de producto. La disponibilidad de inventario afecta a los niveles de servicio al cliente, y los niveles de servicio al cliente afectan a su vez a los tiempos de ciclo de pedido y al diseño de la red de información. Además, incluso otras interdependencias requieren observar el sistema de logística como un todo en vez de hacerlo por sus partes.

La planeación de logística es un problema de diseño. La red se construirá como una configuración de almacenes, puntos de distribución al menudeo, fábricas, inventario movilizado, servicios de transportación y sistemas de procesamiento de información que lograrán un balance óptimo entre los ingresos resultantes del nivel de servicio al cliente establecido por el diseño de red y los costos asociados con la creación y operación de la red.

Cuándo planear[11]

En el proceso de planeación, la principal consideración es el momento en el que la red debe planearse o ser planeada de nuevo. Si actualmente no existe un sistema de logística, como en el caso de una empresa nueva o de artículos nuevos dentro de una línea de productos existentes, la necesidad de planear una red de logística es obvia. Sin embargo, en la mayor parte de los casos en los que una red de logística ya se encuentra disponible, deberá tomarse una decisión, ya sea para modificar la red existente o para permitir que continúe operando incluso cuando no cuente con un diseño óptimo. No es posible ofrecer una respuesta definitiva a esta cuestión sin antes realizar la planeación real. Sin embargo, se pueden ofrecer líneas de acción general para valoración y auditoria de red en las cinco áreas clave: de demanda, servicio al cliente, características del producto, costos de logística y política de precios.

[10] Un conocimiento de embarque es un acuerdo contractual entre quien despacha el pedido y el transportista, que establece las condiciones bajo las cuales será desplazada la carga.
[11] Adaptado de Ronald H. Ballou, "How to Tell When Distribution Strategy Needs Revision", *Marketing News*, 1 de mayo de 1982, Sec. 2, pág. 12.

Demanda

Tanto el nivel de demanda como su dispersión geográfica influyen fuertemente en la configuración de las redes de logística. Las empresas con frecuencia experimentan un crecimiento desproporcionado o un descenso en una región del país en comparación con otras. Incluso cuando sólo se podría requerir una expansión o reducción de las instalaciones actuales, el desplazamiento sustancial de los patrones de demanda podría requerir que nuevos almacenes o plantas se ubiquen en las áreas de rápido crecimiento, en tanto que las instalaciones en los mercados en reducción o de bajo crecimiento necesiten cerrarse. Un crecimiento desproporcionado de sólo unos cuantos puntos porcentuales por año podría ser suficiente para justificar una nueva planeación de red.

Servicio al cliente

El servicio al cliente incluye en sentido amplio la disponibilidad de inventario, la velocidad de entrega, y la rapidez y precisión para cumplir con un pedido. Los costos asociados a estos factores se incrementan a mayor ritmo a medida que el nivel de servicio al cliente se eleva. Por ello, los costos de distribución serán muy sensibles ante el nivel de servicio proporcionado al cliente, en especial si éste ya se encuentra alto.

Por lo general se necesitará reformulación de la estrategia logística cuando se modifiquen los niveles de servicio al cliente como consecuencia de las fuerzas competitivas, revisiones de políticas o metas de servicio arbitrarias, distintas de aquéllas sobre las cuales se basó originalmente la estrategia de logística. Sin embargo, es probable que pequeños cambios en los niveles de servicio, cuando éstos se encuentran bajos, no den lugar a la necesidad de una nueva planeación.

Características del producto

Los costos de logística son sensibles a características como peso del producto, volumen (cúbico), valor y riesgo. En el canal de la logística pueden alterarse estas características por medio del diseño de empaque o por el estado de terminación del producto durante el envío y el almacenamiento. Por ejemplo, el envío de un producto en una forma descuidada puede afectar de manera considerable la proporción peso-masa del producto y las tarifas de transporte y almacenamiento relacionadas. Dado que la alteración de las características de un producto puede modificar en forma sustancial un elemento de costo dentro de la mezcla de logística con un pequeño cambio en los otros, esto creará un nuevo punto de balance de costos para el sistema de logística. De esta forma, cuando se realicen modificaciones sustanciales en las características del producto, podría ser benéfica la replaneación del sistema de logística.

Costos de logística

Los costos en los que incurre una empresa por el suministro físico y la distribución física por lo regular determinarán la frecuencia con la que su sistema de logística deberá replanearse. Si se mantienen todos los demás factores constantes, una empresa que produce bienes de alto valor (como herramientas o computadoras), y que tiene sus costos de logística como una pequeña proporción de sus costos totales, tal vez prestará poca atención a lo óptimo de su estrategia de logística. Sin embargo, cuando los costos de logística son altos, como en el caso de químicos industriales y productos alimenticios empacados, la estrategia de logística será una cuestión clave. Con altos costos de logística, incluso pequeñas mejoras obtenidas por una replaneación frecuente pueden dar por resultado importantes reducciones de costo.

Políticas de precios

Los cambios en las políticas de precios bajo las cuales se adquieren o se venden los bienes afectarán la estrategia de logística, principalmente porque definen la responsabilidad para ciertas actividades de logística. Un proveedor que cambia de un precio de fábrica f.o.b (libre a bordo, l.a.b.) (costos de transportación no incluidos) a un precio de entrega (costos de transportación incluidos) por lo general liberará a la empresa que compra de la responsabilidad de proporcionar o acordar sobre la transportación entrante. En forma similar, la política de precios afectará la transferencia de la propiedad de bienes y también la responsabilidad de transportación dentro del canal de distribución.

Aunque los costos son transferibles a través del canal de logística sin importar la forma como éstos son asignados por el mecanismo de precios, algunas empresas planean sus sistemas de logística con base en los costos por los cuales ellos son directamente responsables. Si una empresa cuenta con una política de precios donde el cliente paga por la entrega de los bienes, la estrategia resultante tal vez será aquella donde existan pocos puntos de abastecimiento, a menos que las restricciones del servicio al cliente obliguen a que se incrementen. Debido a la importancia de los costos de transportación en los costos totales de logística, los cambios en la política de precios a menudo dispararán una reformulación de la estrategia.

Cuando los cambios se han presentado en una o varias de estas áreas, deberá considerarse la replaneación de la estrategia de logística. A continuación se consideran algunos de los principios y conceptos de logística que son útiles para la formulación de la estrategia.

Lineamientos para la formulación de la estrategia

Muchos de los principios y conceptos que dirigen la planeación de logística se derivan de la naturaleza única de las actividades logísticas, especialmente de transportación. Otros son resultado de un fenómeno general económico y de mercado. Todos ofrecen una perspectiva acerca de lo que podría ser la estrategia de logística y establecen el escenario para un análisis más detallado. Varios de ellos serán esquematizados e ilustrados.

Concepto de costo total

En el centro del alcance y el diseño del sistema logístico se encuentra un análisis de equilibrio, el cual a su vez lleva al concepto de costo total. El equilibrio del costo es el reconocimiento de que los patrones de costos de varias actividades de la empresa con frecuencia presentan características que los colocan en conflicto unos con otros. Este conflicto se maneja al equilibrar las actividades para se optimicen en forma colectiva. Por ejemplo, la figura 2-5 muestra que cuando se selecciona un servicio de transportación, se dice que el costo directo del servicio de transporte y el efecto del costo indirecto sobre los niveles de inventario dentro del canal de logística debido a un distinto desempeño de entrega de los transportistas, se encuentran en conflicto entre sí. La mejor elección económica se presentará en el punto donde la suma de ambos costos sea la menor, como lo indica la línea punteada de la figura 2-5.

La elección de un servicio de transportación con base en las tarifas más bajas o el servicio más rápido tal vez no sea el mejor método. Por tanto, el problema básico en logística es el de la administración del conflicto de costos. Dondequiera que existan conflictos sustanciales de costos entre actividades, deberán administrarse de manera coordinada. La red, como anteriormente se describió, incorpora la mayor parte de los conflictos de costos potenciales relevantes para la logística.

El concepto de costo total se aplica no sólo al problema de seleccionar el servicio de transportación. En la figura 2-6 se muestran ejemplos adicionales de problemas de logística,

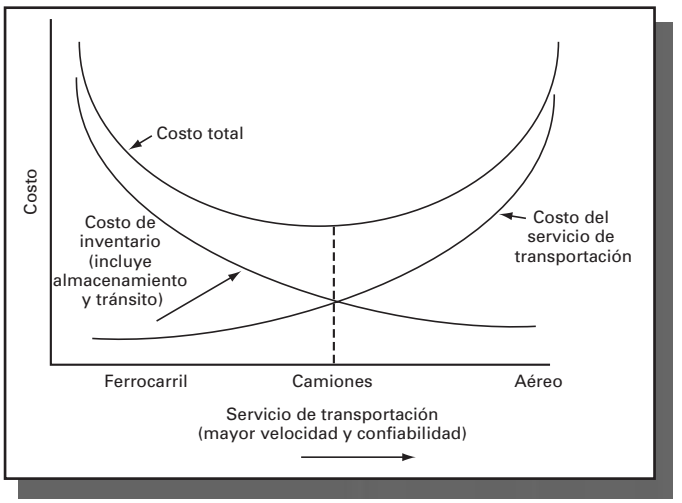


Figura 2-5
Conflicto de costo generalizado entre los costos de transportación y de inventario en función de las características del servicio de transporte.

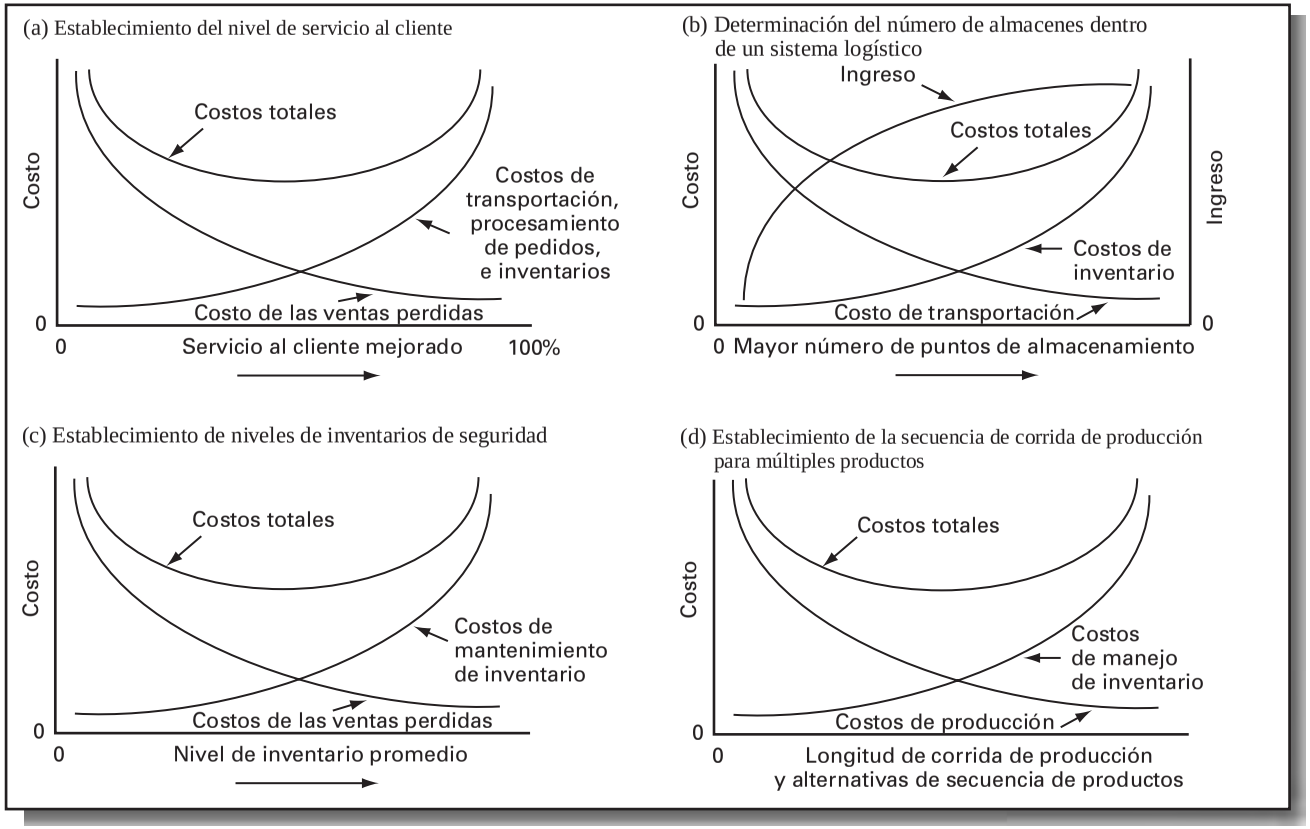
donde se indica un equilibrio de costos. La figura 2-6(a) ilustra el problema de establecer el nivel de servicio al cliente. A medida que el cliente recibe un mayor nivel de servicio, se pierden menos clientes como consecuencia de situaciones de falta de inventario, entregas lentas y poco fiables, y cumplimiento impreciso de pedidos. El costo de ventas perdidas disminuye ante un servicio mejorado. En contrapeso con el costo de las ventas perdidas se encuentra el costo de mantener el nivel de servicio. Un mejor servicio por lo general significa que deberá pagarse más por la transportación, procesamiento de pedidos e inventarios. El mejor equilibrio se presentará en un punto por debajo del 100% del servicio al cliente (perfecto).

La figura 2-6(b) muestra las consideraciones económicas básicas al determinar el número de puntos de almacenamiento dentro de una red de logística. Cuando los clientes compran en pequeñas cantidades y los puntos de almacenamiento se reabastecen en grandes cantidades, el costo de transporte desde los puntos de almacenamiento excederá a los costos de entrada, de manera que los costos de transportación disminuyen cuando el número de puntos de almacenamiento se incrementa. Sin embargo, a medida que el número de puntos de almacenamiento se incrementa, el nivel de inventario para la red completa aumentará y los costos de inventario se elevarán. Además, el nivel de servicio al cliente se ve afectado por esta decisión. El problema será balancear los costos combinados de inventario-transportación contra la contribución de los ingresos provenientes del nivel de servicio proporcionado.

La figura 2-6(c) ilustra el problema de establecer el nivel del inventarios de seguridad. Debido a que el inventario de seguridad incrementa el nivel promedio de los inventarios y afecta el nivel de servicio al cliente mediante la disponibilidad de existencias cuando se levanta un pedido, el costo de las ventas perdidas disminuye. Al incrementar el nivel promedio de inventarios se incrementará el costo de mantener el inventario. Los costos de transportación permanecerán relativamente sin ser afectados. De nuevo, se buscará un balance entre estos costos opuestos.

Por último, la figura 2-6(d) muestra las características básicas de un problema de programación de múltiples productos. Los costos de producción se ven afectados por la secuencia en la cual se fabrican los productos y por el tamaño de la corrida de producción. A medida que se modifica la secuencia de producción, los costos de inventario se incrementarán debido a que los pedidos no se recibirán necesariamente en el momento óptimo pa-

Figura 2-6 Equilibrios adicionales de los sistemas logísticos generalizados.



ra reabastecer los inventarios agotados. El efecto será la elevación del nivel promedio de inventario. La mejor secuencia de producción y el tamaño de fabricación de los productos se ubicará donde se minimicen los costos combinados de producción e inventario.

Estos ejemplos ilustran el concepto de costo total en la forma como se aplica a problemas internos de la empresa y específicamente a problemas logísticos. Sin embargo, en ocasiones las decisiones adoptadas por una empresa dentro de un canal de distribución afectan a los costos de logística de otra empresa. Por ejemplo, las políticas de inventario de un comprador afectan tanto a los costos de inventario del que expide como a los costos operativos del transportista. En este caso, es necesario ampliar los límites del sistema por encima de la función de logística o de la empresa, para incluir tal vez a varias empresas. De esta manera se ampliaría la ecuación de costo total y el ámbito de la toma de decisiones empresariales se extendería por encima de los límites legales de la empresa.

El punto es que el concepto de costo total, o de forma alternativa del sistema total, es un concepto sin límites claros. Aunque podría suponerse que en cierta forma todas las actividades de la economía completa se encuentran económicamente relacionadas con el problema de logística de la empresa, tratar de evaluar todos los equilibrios de costos que pudieran relacionarse con cualquier decisión sería una locura. Se deja a juicio de la dirección decidir los factores que se consideren relevantes e incluirlos en el análisis. Esto definirá si el análisis de costo total incluirá sólo factores dentro de la función logística, como se ha explicado, o si el análisis deberá extenderse para incluir otros factores bajo el control de la empresa o incluso algunos más allá del control inmediato de la misma, como en la cadena completa de suministros. *El concepto de costo total es el equilibrio de todos los costos que se encuentran en conflicto entre sí y que pueden afectar el resultado de una decisión logística particular.*

Aplicación

Un gran fabricante de productos marinos se encontraba construyendo un almacén en St. Louis, Estados Unidos. La selección de ubicación se basó en la minimización de los costos de transporte. Un estudio de seguimiento que incluyó el efecto de la consolidación de inventario sobre los costos de transporte mostró que el almacén estaría mejor ubicado en Chicago. El análisis más detallado dio por resultado diferencias de costos que eran tan espectaculares que la compañía vendió el almacén parcialmente construido y desplazó el inventario a Chicago.

Distribución diferenciada

No todos los productos deberían proporcionar el mismo nivel de servicio al cliente. Este es un principio fundamental para la planeación de logística. Los distintos requerimientos de servicio al cliente, las distintas características de producto y los distintos niveles de ventas entre los múltiples artículos que la empresa común distribuye sugieren que deberían proporcionarse múltiples estrategias de distribución dentro de la línea de producto. Los gerentes han utilizado este principio cuando clasifican en general sus productos en un número limitado de grupos, como volumen de ventas alto, medio y bajo, para luego aplicar un nivel de inventario distinto para cada uno. En menor grado, el principio también se aplica a la ubicación de inventario. Cuando una empresa almacena todos los productos en todas las ubicaciones de almacenamiento, podría hacerlo para simplificar la administración, pero esta estrategia niega las diferencias inherentes entre los productos y sus costos, y lleva a costos de distribución más altos de lo necesario.

Una mejor estrategia podría ser primero diferenciar aquellos productos que deben desplazarse a través del almacén de aquellos productos que deberán enviarse directo a los clientes desde la planta, proveedores u otros puntos de origen. Debido a que la estructura de las tarifas de transporte alienta envíos por volúmenes de vehículos de carga, los productos podrían dividirse primero de acuerdo con el tamaño del envío. Aquellos clientes que ordenen en cantidades de alto volumen serían atendidos directamente, en tanto que los demás serían atendidos desde los almacenes.

Del volumen de ventas restante, los productos deberán ser diferenciados por ubicación. Es decir, los artículos de rápido desplazamiento deberían colocarse en los almacenes de campo con las ubicaciones más adelantadas dentro del canal de distribución. Los artículos de volumen medio deberán colocarse en menores ubicaciones regionales. Los artículos de bajo desplazamiento deberán ubicarse sólo en los puntos de almacenamiento centralizado, como son las plantas. Como resultado de esto, cada punto de abastecimiento podrá contener una mezcla distinta de producto.

Aplicación

Una pequeña compañía de especialidades químicas fabricó una variedad de productos para recubrir metales para la prevención de la oxidación. Todos los productos se fabricaban en una sola ubicación. Un estudio de la red de distribución recomendó patrones de distribución un tanto diferentes de los utilizados históricamente por la compañía. Es decir, todos los envíos que podían realizarse en cantidades de carga de camión completo serían enviados directamente desde la planta a los clientes. Todos los pedidos de clientes grandes, el 10% superior del volumen de la compañía, también serían enviados directo a los clientes desde la planta. El resto de la línea de producto, con sus pequeños tamaños de envío, sería enviado desde uno de los dos almacenes estratégicamente ubicados, así como desde la planta. Esta estrategia de distribución diferenciada ahorró a la compañía 20% de sus costos de distribución, aunque conservó los niveles existentes de servicio logístico al cliente.

La distribución diferenciada puede aplicarse a factores distintos del volumen. Es decir, pueden establecerse distintos canales de distribución para pedidos de clientes regulares y pedidos pendientes. El canal regular de distribución atendería pedidos provenientes de los almacenes. Cuando se presentara una situación de falta de inventario, entraría en juego un sistema de distribución de respaldo que atendiera la orden desde puntos de almacenamiento secundarios y que utilice transportación de primera para compensar la desventaja de mayores distancias de entrega. De igual forma, pueden ofrecerse muchos otros ejemplos donde los canales de distribución múltiple ofrecen menores costos generales de distribución que el diseño de un solo canal.

Estrategia mixta

El concepto de estrategia mixta es similar al de distribución diferenciada. El concepto es el siguiente: *Una estrategia de distribución mixta tendrá menores costos que una estrategia pura o sencilla.* Aunque las estrategias sencillas pueden verse beneficiadas por las economías de escala y por una dirección más simple, se encuentran en desventaja económica cuando la línea de producto varía sustancialmente en términos de volumen, peso, tamaño del pedido, volumen de ventas y requerimiento de servicio al cliente. Una estrategia mixta permite que se establezca una estrategia óptima para grupos de productos independientes.

Esto por lo general tiene menores costos que en una sola estrategia global que debe promediarse a través de todos los grupos de productos.

Aplicación

Un detallista de medicinas de patente y productos diversos se enfrentó a la expansión de su sistema de distribución para poder cumplir con las crecientes ventas obtenidas gracias a un programa de adquisiciones de tiendas minoristas. Se utilizó una configuración de seis almacenes para dar servicio a unas mil tiendas a lo largo de Estados Unidos. La estrategia de la compañía era utilizar sólo almacenes y camiones privados para proporcionar altos niveles de servicio a las tiendas. Los planes de expansión exigieron la construcción de una nueva instalación de $7 millones de dólares. El objetivo del almacén era complementar una instalación sobrecargada que atendía principalmente un área de mercado alrededor de Pittsburgh y bajar costos mediante la utilización de equipo y procedimientos actualizados de manejo y almacenamiento. La dirección de la empresa se comprometió con esta estrategia y comenzó a buscar el lugar para el nuevo edificio.

En este momento se realizó un estudio de planeación de red. Los resultados mostraron que aunque la instalación de Pittsburgh era costosa para operar, los ahorros generados por el nuevo almacén no justificaban la inversión de $7 millones. Aunque esto fue informativo no resolvió la necesidad de la compañía de espacio adicional.

Se propuso al vicepresidente una estrategia mixta de distribución (ver figura 2-7). La utilización de cierto espacio de almacenamiento público (por renta) junto con el espacio propiedad de la empresa podía ofrecer menores costos totales que en la estrategia de utilizar sólo instalaciones privadas. La compañía pudo mover los productos de alto volumen a un almacén público cercano, instalar nuevo equipo y recuperar suficiente espacio para ajustarse a las necesidades previstas. Los costos fueron aproximadamente de $200,000 para el nuevo equipo y de cerca de $100,000 para gastos adicionales de transporte anual para servir a las tiendas desde ambas instalaciones. De esta forma, la compañía fue capaz de evitar los $7 millones que ya había acordado invertir de haberse continuado con una estrategia de distribución sencilla o pura.

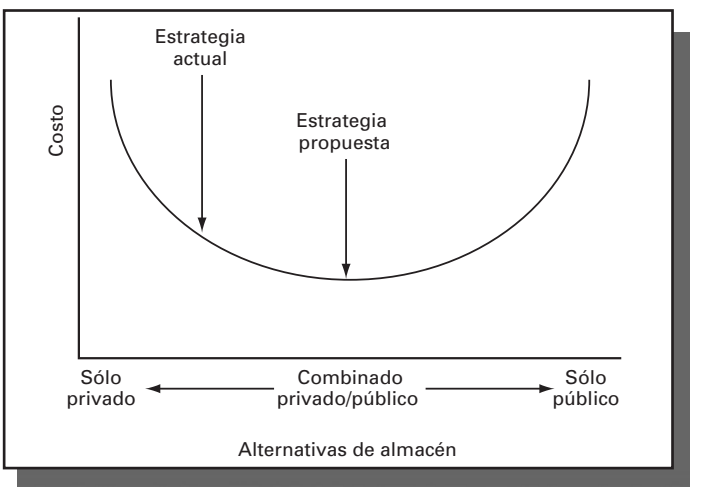


Figura 2-7
Curva de costo total para estrategias de almacenamiento simple y mixto.

Postergación

Se puede establecer el principio de postergación como sigue: *Deberá retrasarse el momento del envío y la ubicación del procesamiento del producto final dentro de la distribución de un producto hasta que se reciba un pedido del cliente.*[12] La idea es evitar el envío de bienes antes de que se presente la demanda (postergación de tiempo) y evitar la creación de la forma del producto final en anticipación de esa forma (postergación de forma).

Ejemplos

- JCPenney practica regularmente la postergación de tiempo en sus operaciones de venta de catálogo al atender pedidos sobre demanda desde relativamente pocas ubicaciones de almacenamiento.
- Dell Computer, fabricante de computadoras personales por correo, practica la postergación al configurar los sistemas de microcómputo según el pedido del cliente a partir de varias opciones disponibles.
- Las tiendas de pintura minoristas Sherwin-Williams crean una variedad de colores para los clientes al mezclar pigmentos sobre algunos colores base, en vez de almacenar todos los colores ya mezclados (postergación de forma).
- Los centros de servicio Steel cortan productos de acero de formas y tamaños estándares en productos a la medida para los clientes (postergación de forma).
- Hewlett-Packard utilizó la postergación como elemento crítico en el diseño del producto DeskJet Plus (la relación entre diseño y la eventual adaptación, distribución y entrega del producto a múltiples segmentos de mercado).[13]
- SW, fabricante de software gráfico, desarrolló sus productos en sus oficinas generales de Estados Unidos. Para ahorrar costos de transporte y de inventario, envío copias maestras del software a Europa para su duplicación y adaptación final para ese mercado.[14]

Específicamente, considere la forma en la que StarKist Foods remodeló su estrategia de distribución utilizando el principio de postergación.

Aplicación

StarKist Food, empresa que envasa productos de atún, modificó su estrategia de distribución para aprovechar el principio de postergación y bajar los niveles de inventario. Históricamente, la compañía empacaba el pescado en sus instalaciones de conservas de California, tanto para el mercado de marca de la compañía como de marca privada. Los

[12] Walter Zinn y Donald J. Bowersox, "Planning Physical Distribution with the Principle of Postponement", *Journal of Business Logistics*, Vol. 9, Núm. 2 (1988), págs. 117-136.
[13] Hau Lee, Corey Billington y Brent Carter, "Hewlett Packard Gains Control of Inventory and Service Through Design for Localization", *Interfaces,* Vol. 23, Núm. 4 (julio-agosto de 1993), págs. 1-11.
[14] Remko I. van Hoek, Harry R. Commandeur y Bart Vos, "Reconfiguring Logistics Systems Through Postponement Strategies", *Planning for virtual response, Proceedings of the twenty-fifth annual Transportation and Logistics Educators Conference* (Orlando, Fl: Transportation and Logistics Research Fund, 1996), págs. 53-81.

productos finales se enviaban a almacenes de campo para su almacenamiento. Tenía que tomarse una decisión en el momento de enlatado acerca de la proporción de la pesca que se dedicaría a los dos productos finales, dado que se contaba con muy poca capacidad para almacenar el pescado como materia prima. No existía diferencia de calidad en el producto final bajo las dos etiquetas.

La compañía estableció una operación adelantada de etiquetado en la Costa Este para atender a los mercados de esa zona. El pescado se empacaba en latas no etiquetadas llamadas "latas brillantes", y las enviaba al almacén de la Costa Este. A medida que el mercado se desarrollaba para los productos finales, las "latas brillantes" se etiquetaban y se enviaban a los clientes. Los inventarios disminuyeron al evitar los costos asociados con tener muy poco o demasiado producto con una etiqueta particular.

Zinn y Bowersox clasificaron cinco tipos de postergación y ofrecieron sugerencias a las empresas que podrían estar interesadas en aplicar el principio. La postergación de forma puede asumir cuatro modelos: etiquetado, empacado, ensamblado y fabricación; el quinto tipo es la postergación de tiempo. Sus sugerencias se resumen en la tabla 2-2. Se recomienda la postergación cuando existen las características presentadas.

Tabla 2-2 Tipos de empresas potencialmente interesadas en aplicar el principio de postergación

Tipo de postergación	Empresas potencialmente interesadas
Etiquetado[a]	Empresas que venden un producto con distintas marcas Empresas con productos de alto valor unitario Empresas con altas fluctuaciones del valor del producto
Empacado[a]	Empresas que venden un producto con distintos tamaños de empaque Empresas con productos de alto valor unitario Empresas con altas fluctuaciones del valor del producto
Ensamblado[a]	Empresas que venden productos con distintas versiones Empresas que venden un producto cuyo volumen se reduce fuertemente si se envía desensamblado Empresas con productos de alto valor unitario Empresas con altas fluctuaciones de las ventas del producto
Fabricación[a]	Empresas que venden productos con alta proporción de materiales ubicuos Empresas con productos de alto valor unitario Empresas con altas fluctuaciones de las ventas del producto
Tiempo[b]	Empresas con productos de alto valor unitario Empresas con un gran número de almacenes de distribución Empresas con altas fluctuaciones de las ventas del producto

[a] Tipo de postergación de forma
[b] Postergación de tiempo
Fuente: Adaptado de Walter Zinn y Donald J. Bowersox, "Planning Physical Distribution with the Principles of Postponement", *Journal of Business Logistics*, Vol. 9, Núm. 2 (1988), pág. 133.

Características de la tecnología y del proceso

- Factible de desacoplar las operaciones primarias y las pospuestas
- Complejidad limitada de la adaptación a la medida
- Diseño modular del producto
- Contratación desde múltiples ubicaciones

Características del producto

- Alta concordancia de los módulos
- Formulación específica de productos
- Componentes periféricos específicos
- Densidad de productos de alto valor
- El volumen, el peso, o ambos, se incrementan con la adaptación a la medida

Características del mercado

- Ciclos cortos de vida del producto
- Altas fluctuaciones de ventas
- Tiempos de espera cortos y confiables
- Competencia de precio
- Mercados y clientes variados[15]

Consolidación

La creación de envíos grandes a partir de pequeños (consolidación) es una poderosa fuerza económica en la planeación estratégica. Es resultado de las sustanciales economías de escala que se presentan en la estructura costo-tarifa de transporte. Los directivos pueden utilizar este concepto para mejorar la estrategia. Por ejemplo, pueden combinarse los pedidos de clientes que llegan a los almacenes con pedidos recibidos posteriormente. Esto incrementará el tamaño del envío promedio, lo cual a su vez hará que disminuyan los costos de envío unitario promedio. Deberá equilibrarse el posible reducido servicio al cliente derivado del mayor tiempo de entrega con los beneficios de costo de la consolidación de órdenes.

Aplicación

Una empresa tiene un almacén principal en el área de Rochester, Nueva York, para atender a un número de tiendas de mercancía general en el este de Estados Unidos. La mercancía consiste en muchos artículos adquiridos en pequeñas cantidades a miles de proveedores. Para reducir los costos de transportación de entrada, la compañía estableció terminales de consolidación en las principales regiones de los proveedores. Se indicó a los proveedores que enviaran las cantidades adquiridas a la terminal de consolidación. Cuando se acumulaban cantidades para llenar un camión, los transportes de la propia compañía desplazaban la mercancía de la terminal de consolidación a su almacén principal. Esto evitó el envío de pequeñas cantidades a grandes distancias hacia el almacén central a tarifas de transportación unitaria muy altas.

[15] Íbid.

En general, el concepto de consolidación será de mayor utilidad en la formulación de estrategia cuando las cantidades enviadas sean pequeñas. Es decir, *cuanto más pequeño sea el tamaño del envío y la desproporcionalidad, mayores serán los beneficios de la consolidación.*

Estandarización

La variedad cobra su precio dentro del canal de la logística. La proliferación de variedad de productos puede incrementar los inventarios y disminuir los tamaños de envío. Con sólo añadir un nuevo artículo a una línea de productos, que sea similar a un artículo existente, puede incrementar los niveles de inventario combinado de ambos artículos en 40% o más, incluso aunque la demanda total no se incremente. La cuestión clave en la formulación de estrategia es la manera de proporcionar la variedad que los clientes buscan en el mercado sin incrementar en forma notable los costos de logística. La utilización de los conceptos de estandarización y postergación en combinación, por lo general es efectiva para resolver este problema.

La estandarización en producción se desarrolla mediante partes intercambiables, productos modularizados y el etiquetado de los mismos bajo diferentes marcas. Esto controla en forma eficaz la variedad de partes, suministros y materiales que deben manejarse dentro del canal de suministros. Las desventajas de la variedad de productos se controlan dentro del canal de distribución mediante la postergación. Por ejemplo, los fabricantes de automóviles crean una infinidad de productos sin incrementar sus inventarios al añadir o sustituir opciones en el punto de venta y creando múltiples marcas a partir de los mismos componentes básicos. Los fabricantes de ropa no tratan de almacenar las tallas exactas que los múltiples clientes requieren, sino que alteran las tallas estándar para ajustarlas.

SELECCIÓN DE LA ESTRATEGIA DE CANAL ADECUADA[16]

La selección del diseño adecuado de canal afecta en gran medida la eficiencia y efectividad de la cadena de suministros. Fundamentalmente existen dos estrategias importantes: el *suministro para almacenamiento* y el *suministro para pedido.* Estos son los puntos terminales en una mezcla de estrategias alternativas combinadas para cumplir con la variedad de características del producto y de la demanda.

La estrategia de suministro para almacenamiento es donde se configura el canal de suministro para una máxima *eficiencia*. Es decir, se utilizan los inventarios para obtener adecuadas economías al permitir corridas de producción económicas, compras en cantidad, procesamiento de pedidos en lote y transportación en envíos de gran tamaño. Los inventarios de seguridad se mantienen para obtener un alto nivel de disponibilidad de producto. La demanda por lo general se cubre mediante los inventarios, pero un control cuidadoso mantiene los niveles de inventario en un mínimo. En contraste, la estrategia de suministro para pedido es aquella donde el canal de suministros se encuentra configurado para máxima *capacidad de respuesta*. Las características del canal son exceso de capacidad, rápidas conversiones, breves tiempos de espera, procesamiento flexible, transportación de primera calidad y procesamiento de órdenes sencillas. Se utilizan estrategias de postergación para retrasar la creación de productos variados lo más lejano posible del canal de suministros. Los costos relacionados con la capacidad de respuesta son compensa-

[16] Basado en Marshall L. Fisher, "What is the Right Supply Chain for your Product?", *Harvard Business Review*, Vol. 75, Núm. 2 (marzo-abril de 1997), págs. 105-116.

Figura 2-8
Características de las cadenas de suministros para almacenamiento y suministros para pedido.

Tipo de cadena de suministros	*Características de diseño del canal*
Cadena de suministros eficiente ***Suministros para almacenamiento***	• Corridas de producción económicas • Inventarios de productos terminados • Cantidades de compra económicas • Tamaños más grandes de envíos • Procesamiento de pedidos en lote
Cadena de suministros con capacidad de respuesta ***Suministros para pedido***	• Capacidad en exceso • Intercambio rápido • Tiempos cortos de entrega • Procesamiento flexible • Transporte de primera calidad • Procesamiento de pedidos individuales

dos por la minimización de los inventarios de bienes terminados. En la figura 2-8 se muestra un resumen de las diferencias entre los dos enfoques.

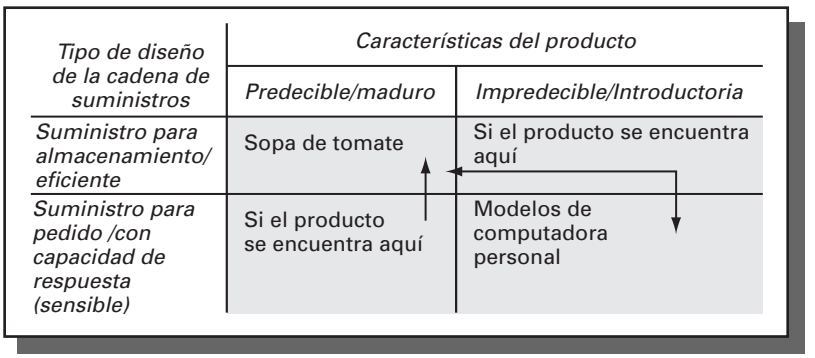
La posibilidad de predecir la demanda y el margen de utilidad de los productos son las principales determinantes de la selección del canal de suministros. Cuando los productos cuentan con un patrón de demanda estable y por tanto son razonablemente predecibles, la planeación de su suministro es razonablemente fácil. Muchos productos con un patrón de demanda estable también presentan una característica de madurez en la que la competencia es intensa y los márgenes de utilidad son bajos. Estas características llevan al responsable de logística a diseñar el canal de suministros con el menor costo posible en consistencia con el cumplimiento de las metas de servicio al cliente. Los productos típicos que podrían encontrarse en la categoría predecible se muestran en la tabla 2-3.

Por otro lado, los productos altamente impredecibles con frecuencia conllevan mayor margen de utilidad que el de los predecibles. Observe los ejemplos en la tabla 2-3. Con frecuencia son innovadores, son desarrollos de nuevos productos e incorporan nueva tecnología, y por tanto requieren mayor rendimiento. Existe menor información histórica para estimar su nivel de ventas. Incluso algunos productos que han estado presentes en líneas de productos por muchos años presentan una demanda altamente variable o abul-

Tabla 2-3
Clasificación de productos

Productos predecibles/maduros	Productos no predecibles/introductorios
• Postres de gelatina	• Discos compactos nuevos
• Hojuelas de maíz	• Juegos de computadora nuevos
• Fertilizantes para césped	• Ropa de moda
• Bolígrafos	• Trabajos artísticos
• Focos	• Películas
• Llantas de reemplazo para automóviles	• Servicios de consultoría
• Algunos químicos industriales	• Nuevas ofertas de productos para líneas actuales de producto
• Sopa de tomate	

Figura 2-9
Acciones para productos mal clasificados.



tada. Los artículos de bajo volumen son típicos de éstos. A menos que los productos tengan bajo valor, existe un desincentivo económico para mantener inventarios de estos productos con el fin de cumplir con una demanda incierta. La mejor estrategia es responder rápidamente a la demanda en el momento que ésta ocurra, no a partir de inventarios, sino de los procesos de producción o de los proveedores. Al aplicar el diseño de suministro para almacenamiento a la clase de producto no predecible se obtendrán inventarios excesivos de productos terminados necesarios para mantener niveles de disponibilidad de producto adecuados, mayores ciclos de tiempo del producto resultantes de la producción en lote o las compras por cantidad, y entregas lentas resultantes de la consolidación de envíos. Un diseño de rápida respuesta (sensible) evitará los largos periodos de entrega, inventarios excesivos, o ambos, al cumplir con la demanda cuando ésta ocurra.

Al modelar la estrategia adecuada es necesario clasificar correctamente los artículos existentes dentro de una línea de producto. Una vez hecho esto se deben hacer corresponder con su diseño de cadena de suministros, como se muestra en la figura 2-9. Cuando exista incongruencia, hay dos opciones. Primero, se puede hacer un intento por cambiar las características del producto. Para un artículo no predecible, se deberá buscar un mejor método de pronóstico, de manera que el diseño de suministro para almacenamiento sea adecuado. Segundo, el tipo de diseño de la cadena de suministros puede modificarse a un diseño de suministro para pedido o de mayor respuesta. Por otro lado, un producto clasificado como predecible pero que está siendo suministrado bajo un diseño sensible, puede ser modificado al diseño de eficiencia. Resulta dudoso que un producto predecible se moviera a la categoría de no predecible.

Se han proporcionado lineamientos generales para seleccionar el diseño adecuado de cadena de suministros; sin embargo, se puede tolerar cierta incongruencia de las características del producto con el tipo de diseño. Algunos productos pueden tener una alta demanda impredecible, pero su bajo valor y su bajo margen sugieren que estará justificado mantener un inventario extra como resultado de un deficiente pronóstico o de tiempos de espera de reabastecimiento altamente variables. El diseño de rápida respuesta que requiere cuidadosa dirección no está garantizado. De igual forma, los productos con demanda predecible no requieren ser desplazados de un diseño con capacidad de respuesta (sensible) a un diseño eficiente si no existe un beneficio derivado de los menores costos de cauce o del mayor servicio al cliente.

Considérese la forma en la que Benetton, fabricante y minorista italiano de ropa, mejor conocido por sus coloridos suéteres, introdujo una estrategia de suministro para pedidos en sus tiendas dentro de un ambiente detallista tradicional de suministro para inventario, con objeto de reducir la obsolescencia del inventario e incrementar las ventas. Las

ventas de los suéteres han sido impredecibles, pero debido a los largos tiempos de entrega por parte de los fabricantes, los detallistas tuvieron su mejor oportunidad en las ventas y almacenaron de acuerdo con ello. El principio de postergación tiene un papel importante en la estrategia de suministro para pedido, por medio de la cual los estambres y con frecuencia los suéteres son fabricados en estado de "gris", listos para el acabado final y el teñido en el color de terminado.

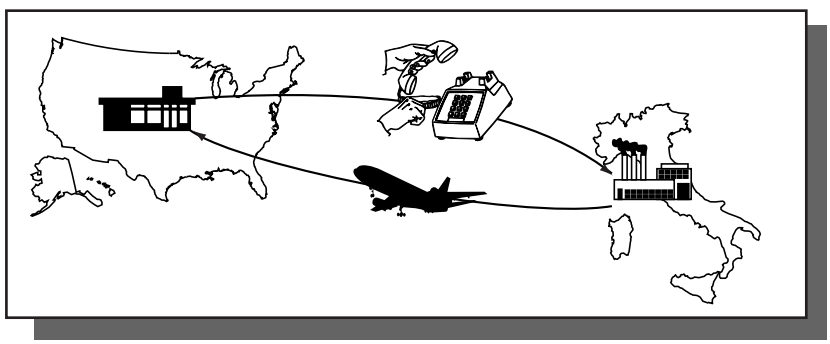
Ejemplo

Benetton, la compañía italiana de ropa deportiva tiene al tejido como su núcleo. Ubicada en Ponzano, Italia, Benetton fabrica y distribuye 50 millones de piezas de ropa en el mundo cada año. Produce principalmente suéteres, pantalones y vestidos.

Benetton se percató que la forma más rápida de manejar un sistema de distribución era creando un lazo de conexión electrónica del agente de ventas, la fábrica y el almacén, como se ilustra en la figura 2-10. Por ejemplo, si un vendedor en una de las tiendas de Benetton en Los Ángeles se da cuenta que se están terminando las existencias del suéter de color rojo de mayor venta a principios de octubre, llama a uno de los 80 agentes de ventas, quien ingresa la orden en su computadora personal, la cual la envía a la computadora central en Italia. Ya que el suéter color rojo fue originalmente creado sobre un sistema de diseño apoyado por computadora, la computadora central cuenta con todas las medidas a la mano en código digital, las cuales pueden ser transmitidas a una máquina de tejido. La máquina fabrica los suéteres, los cuales son colocados por trabajadores de la fábrica en una caja con una etiqueta de código de barras que contiene la dirección de la tienda de Los Ángeles, y la caja se va al almacén. Así es, un solo almacén atiende las 5,000 tiendas de Benetton en 60 países alrededor del mundo. Cuesta $30 millones, pero este centro de distribución, manejado por solo ocho personas, desplaza 230,000 piezas de ropa por día.

Una vez que los suéteres rojos se encuentran cómodamente colocados en uno de los 300,000 espacios dentro del almacén, una computadora envía un robot flotante. Mediante la lectura de los códigos de barras, el robot localiza la caja correcta y cualquier otra caja que será enviada a la tienda de Los Ángeles; las recoge y las carga en un camión. Incluyendo el tiempo de fabricación, Benetton puede hacer que los pedidos lleguen a Los Ángeles en cuatro semanas. Si el almacén ya cuenta con suéteres rojos en existencia, le tomará una se-

Figura 2-10 Canal de entrega de Benetton



mana. Esto significa un gran desempeño en la notoriamente lenta industria del vestido, donde difícilmente cualquiera otro se molesta en reordenar. Y si Benetton de pronto se da cuenta que no fabricó este año ningún Cardigan negro ni blusas púrpura, por decir algo, y que estos se encuentran en pleno auge, puede fabricar y enviar una "colección relámpago" de Cardigans negros y blusas púrpura en grandes cantidades en unas cuantas semanas.[17]

Medición del desempeño de la estrategia

Una vez que se planearon y pusieron en práctica las estrategias de cadena de suministros, los directivos desean conocer si éstas funcionan. Para comprobarlo son útiles tres mediciones: el flujo de efectivo, los ahorros y el rendimiento sobre la inversión. Si todos son positivos y sustanciales, tal vez las estrategias se encuentren trabajando bien. Estas mediciones financieras son de interés particular para la alta dirección.

Flujo de efectivo

El flujo de efectivo es el dinero que genera una estrategia. Por ejemplo, si la estrategia es disminuir la cantidad de inventario dentro de un canal de suministro, entonces el dinero liberado por el inventario mantenido como un activo se convierte en efectivo. Luego este efectivo puede utilizarse para pagar salarios o dividendos, o puede invertirse en otras áreas del negocio.

Ahorros

Los ahorros se refieren al cambio en todos los costos relevantes asociados con una estrategia. Estos ahorros contribuyen a las utilidades del periodo del negocio. Una estrategia que modifica el número y la ubicación de los almacenes dentro de una red logística afectará a los costos de transportación, de manejo de inventarios, de almacenamiento y de producción/compras. Una adecuada estrategia de diseño de red producirá importantes ahorros anuales de costos (o de forma alternativa, un mejor servicio al cliente que contribuye al crecimiento de ingresos). Estos ahorros aparecerán como un mejoramiento de utilidades en el estado de resultados del negocio.

Rendimiento sobre la inversión

El rendimiento sobre la inversión es la proporción de los ahorros anuales derivados de la estrategia contra la inversión requerida por la misma. Indica la eficiencia con la que se utiliza el capital. Las buenas estrategias deberán mostrar un rendimiento mayor o igual al rendimiento esperado sobre los proyectos de la compañía.

Aplicación

Una compañía buscaba consolidar sus almacenes de 19 a cuatro ubicaciones. El sistema actual de almacenes había crecido como consecuencia del agresivo programa de fusiones de la compañía, generando como consecuencia almacenes inadecuados para el perfil de

[17] "How Managers can Succeed Through SPEED", *Fortune*, 13 de febrero de 1989, págs. 54-59. © 1989 The Time, Inc. Magazine Company. Todos los derechos reservados.

la demanda geográfica revisada. Además, las mejoras en la transportación permitieron que los transportistas entregaran productos a mayores distancias en un tiempo más corto. Como resultado de esto, un menor número de almacenes ahorraría costos preservando el mismo servicio al cliente.

El análisis de la estrategia de los cuatro almacenes reveló una mejora sustancial en las tres mediciones de desempeño. Se informó a la alta dirección que el flujo de efectivo se incrementaría en $59 millones, debido principalmente a la reducción de inventarios. Las utilidades mejorarían debido a que una reducción en los costos de distribución ahorraría anualmente $20 millones de dólares. Por último, debido a que sólo se requería un nuevo almacén y se anticipaba un bajo gasto de desplazamiento, el rendimiento sobre la inversión del proyecto era de 374%. La alta dirección estaba satisfecha y se llevó a cabo la estrategia.

Comentarios finales

En este capítulo se trató de fijar un esquema para planear la red de logística. El plan comenzó con una visión de dónde desea ir la compañía como un todo y con un esbozo de su estrategia competitiva. Esta visión se convirtió en planes específicos para las áreas funcionales de la empresa, una de las cuales es la logística.

La estrategia de logística está típicamente formada alrededor de tres objetivos: reducción de costos, reducción de capital y mejora del servicio. Dependiendo del tipo de problema, las estrategias pueden ir de periodos largos a periodos cortos. La planeación por lo general se presenta alrededor de cuatro áreas clave: servicio al cliente, ubicación, inventarios y transportación. La red de eslabones y nodos funciona como una representación abstracta del problema de planeación.

Se ofrecieron sugerencias acerca de cuándo debe emprenderse la planeación. Se presentaron varios principios y conceptos que pueden ser útiles para formular estrategias efectivas de logística. Por último, se analizaron lineamientos para seleccionar el diseño correcto de la cadena de suministros.

Preguntas

1. Usted planea iniciar una compañía que fabricará muebles de hogar (sofás, sillas, mesas y similares). Bosqueje una estrategia corporativa para competir en el mercado. ¿Qué estrategia de logística podría usted derivar de la estrategia corporativa?
2. Suponga que en su compañía usted es responsable de la distribución de cerveza taiwanesa a través de la Unión Europea. Sugiera una red de distribución que cumpla las tres metas individuales de reducción de costos, reducción de capital y mejora del servicio. Compare cada uno de estos diseños y sugiera lo que considere que es un buen diseño equilibrado.
3. Haga un diagrama de red de los sistemas de logística que usted cree serían apropiados para las siguientes compañías:
   a. Una compañía de acero que suministra hoja de acero a los fabricantes de autos.
   b. Una compañía petrolera que suministra combustible de calefacción para el noreste de Estados Unidos.
   c. Una compañía de alimentos que distribuye bienes enlatados a un mercado local.
   d. Una empresa electrónica japonesa que distribuye televisores en Europa.

4. Considere el problema de ubicar un almacén propiedad de la compañía que funcionará como punto de distribución regional para su línea de enseres domésticos.
   a. Describa el proceso de planeación que el responsable de logística podría seguir para decidir el lugar de ubicación del almacén.
   b. ¿Qué factores ambientales son los más importantes para esta decisión?
   c. ¿Cuáles deberían ser los objetivos para este problema (minimización de costos, minimización de capital o maximización de servicio)?
   d. ¿Cómo debería proceder el gerente de logística al poner en práctica el plan seleccionado, y cómo deberá controlarse el desempeño del plan una vez que se haya puesto en marcha?
5. Explique el significado de planeación estratégica para un sistema de logística. Seleccione varias compañías de su preferencia, analice las actividades que deberían incluirse y el motivo. ¿Cómo distinguiría la planeación táctica y operativa de la planeación estratégica?
6. Describa la mayor cantidad de ventajas y desventajas (interrelaciones) que un administrador de logística podría encontrar en la planeación estratégica.
7. Describa el principio de distribución diferenciada. Explique cómo se ilustra en las siguientes situaciones:
   a. Los costos totales de distribución se minimizan si las órdenes retrasadas en los inventarios en almacén de campo se despachan desde los inventarios de planta. Se utiliza transportación de primera para enviar las órdenes atrasadas directamente de la planta a los clientes.
   b. Los artículos de producto abastecidos en un almacén se encuentran agrupados de manera que se establezcan distintos niveles de disponibilidad de inventario para cada uno de los grupos.
   c. Todos los productos se agrupan de acuerdo con un esquema de clasificación *ABC*, donde los artículos *A* tienen altos volúmenes de venta, los artículos *B* tienen volúmenes de venta moderados y los artículos *C* tienen bajos volúmenes de venta. Los artículos *A* se guardan en almacenes de campo, los artículos *B* se guardan en almacenes regionales y los artículos *C* se guardan sólo en las instalaciones de la planta.
8. La compañía Savemore Grocery es una cadena de 150 supermercados. Las tiendas en la cadena se abastecen desde un centro de distribución central. La compañía utiliza sólo camiones privados para hacer estas entregas. ¿Cómo esto puede ser una violación del principio de estrategia mixta?
9. Explique cómo las siguientes situaciones ilustran el principio de postergación.
   a. La pasta de dientes se envía en cantidades a granel a los almacenes cercanos a los mercados donde las ventas en el área determinan el tamaño del empaque del producto final.
   b. Un fabricante de pinturas envía "latas brillantes", o sin etiquetar, por producto a sus almacenes. El equipo de etiquetado en el almacén asigna el producto a la marca final.
10. Describa la forma en la que los fabricantes de automóviles practican rutinariamente la estandarización en sus canales de distribución.
11. ¿Qué realidades económicas forman la base del principio de consolidación? A medida que el tamaño del envío se vuelve más pequeño, ¿Por qué se aplica este principio de manera más efectiva? Describa una situación donde la consolidación presente sustanciales beneficios económicos.
12. Un fabricante de baterías envía producto sin marca desde su fábrica a un almacén junto con las etiquetas y las cajas de cartón. A medida que se reciben los pedidos de los clientes para baterías de marca privada o de marca de la compañía, el almacén coloca las etiquetas apropiadas sobre los productos y los envía en las cajas adecuadas. ¿Qué concepto aplica el fabricante de baterías y qué ventajas es probable que obtenga?

13. El gerente de tráfico de la compañía Monarch Electric ha recibido recientemente una oferta de reducción de tarifas por parte de su compañía de transporte terrestre para el envío de motores de potencia fraccionada al almacén de campo de la compañía. La propuesta es una tarifa de $3 por quintal (= 1 hundredweight = 1 cwt. = 100 lbs.) si se desplazan un mínimo de 40,000 libras en cada envío. Actualmente, los envíos de 20,000 libras o más se desplazan a una tarifa de $5 por quintal. Si el tamaño del envío cae por debajo de las 20,000 libras, aplica una tarifa de $9 por quintal.

    Para ayudar al gerente de tráfico a tomar una decisión, se reunió la siguiente información adicional:

Demanda anual sobre el almacén	5,000 motores por año
Órdenes de reabastecimiento del almacén	43 órdenes por año
Peso de cada motor embalado	175 libras por motor
Costo estándar del motor en almacén	$200 por motor
Costos de manejo de orden de reabastecimiento de inventario	$15 por orden
Costos de manejo de inventario como porcentaje del valor promedio del inventario disponible por un año	25% por año
Costo de manejo en el almacén	$0.30 por quintal
Espacio de almacenamiento	ilimitado

    ¿Deberá la compañía poner en práctica esta nueva tarifa?
14. ¿Cuáles son las diferencias entre un diseño de canal de suministro para almacenamiento y suministro para pedido? ¿Cuándo es apropiado el uso de cada uno?
15. Describa por qué piensa que las ventas de los siguientes productos son predecibles o no predecibles.
    a. Coca-Cola
    b. Un estreno de disco compacto de un artista nuevo
    c. Focos
    d. Bicicletas a la medida

    Analice cuáles deberían ser las características del canal de suministros para cada producto en términos de los procesos de producción, servicios de transporte, niveles de inventario, procesamiento de órdenes y nivel o capacidad de respuesta del proveedor.
16. ¿Qué diferencias existen, si es que existen, entre la dirección de logística y la dirección de la cadena de suministros?
17. Usted planea iniciar un negocio de pedidos por correo que enviará ropa de precio moderado para hombres bajos y mujeres pequeñas. Las tiendas de ropa local, su principal competencia, manejan una selección limitada de tamaños para este mercado, y tienen poca oportunidad de obtener artículos que no se encuentren en su inventario inmediato. Algunos clientes aprecian la oportunidad de probarse la ropa y escuchar el consejo del vendedor, pero por lo general se encuentran decepcionados por la limitada selección. Usted cree que cuenta con una ventaja de precio debido a los bajos gastos generales (sólo los levantadores de pedidos y encargados de atenderlos forman el personal, y el almacén se encuentra en un distrito de renta baja).

    ¿Qué estrategia puede formular que permita competir efectivamente contra los detallistas locales?
18. Storck es un productor alemán de dulces, de los cuales las marcas mejor conocidas son Werther's, Riesen y Golden Best. Toda la producción tiene lugar en Europa; de hecho, Storck es el mayor consumidor de azúcar en Europa. Storck USA importa sus productos de caramelos a Estados Unidos a través de un puerto de la Costa Este y los distribuye a las tiendas de distribución y menudeo, como Wal-Mart, CVS Pharmacy, McLane, Target, Tri-

Cor Distribution y Winn-Dixie. Las ventas en Estados Unidos son cercanas a los $100 millones. La distribución actualmente tiene lugar mediante algunos almacenes públicos en ciertos puntos de agrupación. La consolidación entre los detallistas y un reposicionamiento de sus almacenes, los desplazamientos en los niveles de demanda y la necesidad de corregir cierto deterioro de los clientes para proteger la participación de mercado han llevado a una reevaluación del sistema de distribución en Estados Unidos.

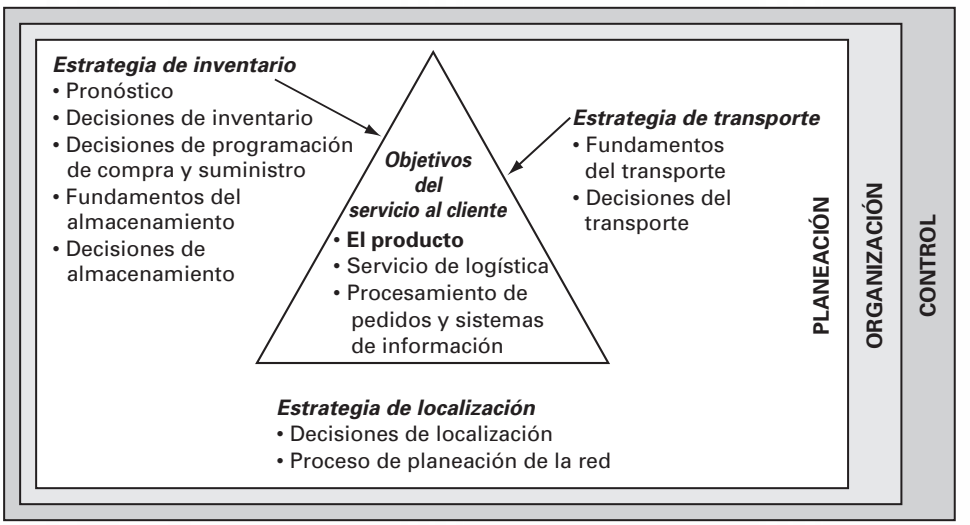
Considerando las estrategias comunes de logística que podrían maximizar el rendimiento sobre los activos logísticos (ROLA, del inglés Return On Logistics Assets), ¿qué diseño de sistema de distribución puede proponer que en general cumpla todo este objetivo?

Capítulo 3

El producto de la logística y de la cadena de suministros

> *... la primera regla al tratar con las culturas y costumbres de otras personas es que tienes que seguirlas, sin importar cuál pueda ser tu papel en la tierra extranjera.*
>
> —TENIENTE GENERAL WILLIAM PAGONIS

El producto de la logística y de la cadena de suministros es un conjunto de características que pueden ser manipuladas por el gerente de logística. Hasta el punto en que las características del producto puedan ser moldeadas una y otra vez para obtener una mejor posición en el mercado y poder crear una ventaja competitiva. Los clientes responderán con su apoyo o influencia.



El producto es el núcleo del enfoque en el diseño del sistema de logística, porque es el objeto de flujo en la cadena de suministros, y en su forma económica genera los ingresos de la empresa. Es esencial una clara comprensión de este elemento básico para formular buenos diseños de sistemas de logística, y es la razón para explorar las dimensiones básicas del producto al representarlo por sus características, empaque y precio como un elemento de servicio al cliente en el diseño de sistemas de logística.

Naturaleza del producto de la logística y de la cadena de suministros

Según Juran, un producto es consecuencia o resultado de una actividad o proceso.[1] El producto está compuesto de una parte física y de una parte intangible, que juntas conforman lo que se llama la oferta total del producto de una empresa. La porción física de la oferta del producto se compone de características como peso, volumen y forma, así como peculiaridades, desempeño y durabilidad. La parte intangible de la oferta del producto puede ser un apoyo después de la venta, la reputación de la compañía, la comunicación para suministrar una información correcta y a tiempo (por ejemplo, seguimiento del envío), flexibilidad para satisfacer las necesidades individuales de los clientes y posibilidad de recuperación para rectificar errores.[2] La oferta total del producto de una compañía será una mezcla de las características físicas y de servicio.

Clasificación de los productos

Dependiendo de quién vaya a usar el producto, el diseño del sistema de logística deberá reflejar los diferentes patrones de uso. Las clasificaciones claras de productos son valiosas para sugerir la estrategia de la logística, y en muchos casos para comprender por qué los productos se suministran y se distribuyen de la manera en la que se hace. Una clasificación tradicional consiste en dividir los bienes y servicios en productos para el consumidor y productos industriales.

Productos para el consumidor

Los productos para el consumidor son aquellos que están dirigidos a los consumidores finales. La gente de marketing ha reconocido desde hace tiempo las diferencias básicas en la manera en la que los consumidores van a seleccionar los bienes y servicios, y dónde comprarlos. Una clasificación de productos para el consumidor compuesta de tres partes ha sugerido: productos de conveniencia, productos de selección y productos especializados.

Los *productos de conveniencia* son aquellos bienes y servicios que los consumidores compran frecuente e inmediatamente y con poca compra comparativa. Los productos típicos son los servicios de bancos, artículos de tabaco y muchos productos alimentarios.

[1] Joseph M. Juran, *Juran on Leadership for Quality* (Nueva York: The Free Press, 1989).
[2] Tommy Carlsson y Anders Ljundberg, "Measuring Service and Quality in the Order Process", *Proceedings of the Council of Logistics Management* (San Diego; Council of Logistics Management, 1995), págs. 315-331.

Estos productos en general requieren una amplia distribución en muchas plazas o mercados. Los costos de distribución por lo regular son altos, pero están más que justificados por el potencial de ventas multiplicado que se consigue gracias a esta distribución amplia y extensa. Los niveles de servicio al cliente, expresados en términos de disponibilidad y accesibilidad del producto, deben ser elevados para animar cualquier grado razonable de protección de los productos por parte de los clientes.

Ejemplo

PepsiCo y Coca Cola reconocen que sus productos de refrescos son bienes de conveniencia. Por lo tanto, un canal de distribución es a través de las máquinas expendedoras localizadas casi en cualquier lugar en el que puedan reunirse personas.

A causa de ello, los teléfonos públicos se sitúan amplia y convenientemente por todo el país, igual que las torres de teléfonos celulares, las cuales están reemplazando ahora muchos lugares de teléfonos públicos.

Los *productos de selección* son aquellos que los clientes están dispuestos a buscar y comparar: visitan muchos establecimientos antes de comprar; comparan precios, calidad y desempeño, y efectúan la compra sólo después de una cuidadosa deliberación. Los típicos productos de esta categoría son la ropa de alta moda, automóviles, muebles para el hogar y cuidado médico. A causa de la disponibilidad del cliente de ir de tienda en tienda, el número de puntos de venta está sustancialmente reducido en comparación con los bienes y servicios de conveniencia. Un proveedor individual puede almacenar bienes u ofrecer servicios en sólo unos cuantos puntos de venta en un área determinada de mercado. Los costos de distribución para tales proveedores son algo más bajos que los de los productos de conveniencia, y la distribución del producto no necesita ser tan amplia.

Ejemplo

El cuidado médico especializado de alto nivel está concentrado en pocos hospitales universitarios, clínicas y hospitales privados, debido a los altos costos de las instalaciones, equipo y personal altamente calificado. Dado que los pacientes a menudo quieren el mejor cuidado posible, están dispuestos a seleccionar y viajar a tales lugares, a menudo pasando por alto a los proveedores de cuidados de la salud intermedios que pueden estar situados más cerca de ellos.

Los *productos especializados* son aquellos por los que los compradores están dispuestos a hacer un esfuerzo sustancial y a menudo esperar bastante tiempo para adquirirlos; los ejemplos abarcan desde la comida gourmet hasta automóviles bajo pedido, o servicios como consultoría administrativa. Debido a que los compradores insisten en comprar determinadas marcas en particular, la distribución está centralizada y los niveles de servicio al cliente no son tan altos como los de los productos de conveniencia y comerciales. Los costos de distribución física pueden ser los más bajos de cualquier categoría de productos. Por ello, muchas empresas intentarán crear una preferencia de marca para su línea de productos.

Ejemplo

Muchos músicos profesionales recorrerán casi cualquier distancia para hallar el equipo adecuado para desempeñarse mejor. Por ejemplo, un clarinetista requiere una lengüeta, que consiste en una pequeña pieza de caña que es el generador del tono del clarinete. Esta caprichosa pieza de pasto seco puede influir en el éxito o el fracaso de un músico profesional (o al menos eso es lo que él o ella piensa). Hay un tipo de lengüeta que es buscada con particular interés. Crece en el sur de Francia y sólo la distribuye un punto de venta minorista en Estados Unidos. Según el propietario de la tienda, un clarinetista profesional viaja regularmente más de 600 millas hasta su tienda para adquirir un suministro de este producto especializado.

Productos industriales

Los bienes y servicios industriales son aquellos que están dirigidos a individuos u organizaciones que los usan para producir otros bienes o servicios. Su clasificación es un poco diferente a la de los productos para el consumidor. Debido a que los vendedores buscan por lo general a los compradores, no sería relevante una clasificación basada en los patrones de compra.

Tradicionalmente, los bienes y servicios industriales se han clasificado según el punto en el cual entran en el proceso de producción. Por ejemplo, hay bienes que son parte del producto terminado, como las materias primas y las partes que lo componen. Hay bienes que se usan en el proceso de fabricación, como los edificios y el equipo; y hay bienes que no entran en el proceso directamente, como las provisiones y los servicios del negocio. Aunque esta clasificación es valiosa al preparar una estrategia de ventas, no está claro que sea útil al planear una estrategia de distribución física. Los compradores industriales no parecen mostrar preferencias por los diferentes niveles de servicio existentes para las diferentes clases de productos. Esto significa, sencillamente, que las clasificaciones tradicionales de producto para los productos industriales quizá no sean tan útiles para identificar los canales típicos de la logística como lo son en la clasificación de los productos para el consumidor.

El ciclo de vida del producto

Otro concepto familiar tradicional para los mercadólogos (o mercadotecnistas) es el del ciclo de vida del producto. Los productos no generan su volumen de ventas máximo inmediatamente después de ser introducidos en el mercado, ni mantienen su volumen de ventas pico en forma indefinida. Es característico que con el tiempo los productos sigan un patrón de volumen de ventas, atravesando cuatro etapas: introducción, crecimiento, madurez y decaimiento (véase figura 3-1). La estrategia de distribución física difiere para cada etapa.

La etapa de introducción ocurre justo después de que un nuevo producto haya entrado en el mercado. Las ventas no están a un alto nivel porque todavía no hay una amplia aceptación del producto. La estrategia típica de distribución física es cautelosa, con un surtido restringido a unas cuantas localizaciones. La disponibilidad del producto es limitada.

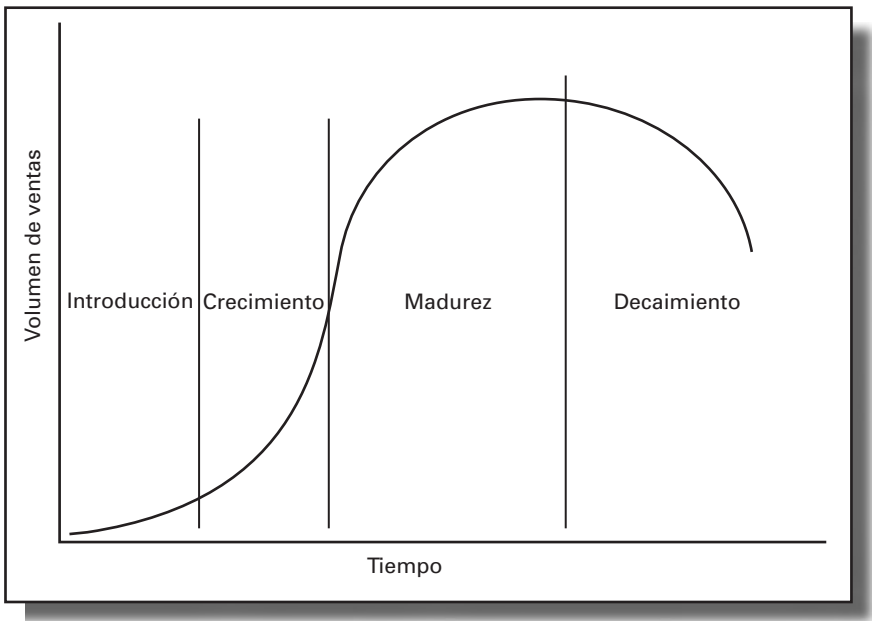


Figura 3-1 Curva generalizada para el ciclo de vida del producto.

Ejemplo

Cuando un joven graduado de la universidad desarrolló el popular juego de mesa Pictionary (versión de acertijos), no existía ningún sistema de fabricación o distribución establecido. Pidió prestados $35,000 (a sus padres) y produjo una provisión limitada del juego. Para distribuir Pictionary en su fase de puesta en marcha, contrató adolescentes para que lo jugaran en centros comerciales y luego vendía ahí mismo el juego a los paseantes interesados.

Si el producto recibe la aceptación del mercado, las ventas pueden incrementarse con rapidez. La planeación de la distribución física es particularmente difícil en esta etapa. A menudo no hay mucho historial de ventas para guiar los niveles de inventario en los puntos de venta, ni tampoco se sabe cuántos puntos de venta usar. A menudo, durante esta etapa de expansión, la distribución está bajo el juicio y el control gerencial. Sin embargo, la disponibilidad del producto también crece rápidamente sobre una amplia zona geográfica, correspondiendo así al creciente interés de los clientes en el producto.

Ejemplo

Un ejecutivo de la compañía que distribuía el juego Trivial Pursuit compró una copia de Pictionary y se la dio a su hija y a sus amigos para que jugaran con él. Fascinado con la aceptación del juego, llegó a un acuerdo para conseguir los derechos para su fabricación y venta. Fue un movimiento sabio, porque Trivial Pursuit estaba en la etapa de decaimiento de su ciclo de vida. Pictionary se distribuyó a través de los canales ya establecidos para Tri-

vial Pursuit, y en su etapa de crecimiento se incrementaron rápido las ventas, llegando a ser el juego de mesa más vendido de su época.

La etapa de crecimiento puede ser bastante corta, seguida por una etapa más larga llamada madurez. El crecimiento de ventas es lento o se estabiliza en un nivel máximo. El volumen del producto ya no sufre ningún cambio rápido, y por lo tanto puede considerarse dentro de los patrones de distribución de productos existentes similares. En este momento, el producto tiene su distribución más amplia. Se usan muchos puntos de venta con buen control sobre la disponibilidad del producto en todo el mercado.

Ejemplo

La original bebida Coca Cola, formulada por un farmacéutico a finales del siglo XIX, ha estado en la fase de madurez de su ciclo de vida durante más tiempo que cualquier otro producto. Su distribución es mundial, y se extiende incluso a los países que normalmente no están considerados como abiertos al libre comercio.

Eventualmente, el volumen de ventas decae para la mayor parte de los productos como resultado de cambios tecnológicos, de la competencia o al advertir el interés del consumidor. Para mantener una distribución eficiente, tal vez que tengan que ajustarse los patrones de movimiento del producto y el despliegue de inventario. El número de puntos de venta al parecer disminuye y el producto vendido se reduce a menos localizaciones y más centralizadas.

Ejemplos

El circo Barnum and Bailey solía actuar en muchas ciudades por todo Estados Unidos. Con los cambiantes patrones de interés y compitiendo contra otras opciones de entretenimiento, la demanda por el circo cayó de sus niveles previos. En la etapa de decaimiento de su ciclo de vida, el circo sólo actúa cada año en unos cuantos centros donde la población es mayor, con el fin de poder atraer multitudes lo suficientemente grandes como para cubrir los costos.

El tocadiscos o tornamesa alguna vez fue un aparato importante en los sistemas de audio para escuchar música grabada, pero ahora está ocupando un último puesto ante el reproductor de discos compactos. El mercado se ha desplomado con ventas limitadas a coleccionistas y audiófilos.

El fenómeno del ciclo de vida de un producto tiene gran influencia en la estrategia de la distribución. El gerente de logística necesita estar continuamente alerta sobre la etapa del ciclo de vida de un producto para que los patrones de distribución puedan ajustarse con el fin de poder alcanzar un máximo de eficiencia en esa etapa. El fenómeno del ciclo de vida de los productos permite al gerente de logística anticipar las necesidades de distribución y planearlas por adelantado. Dado que los distintos productos de una empresa están por lo general en diferentes etapas de sus ciclos de vida, el ciclo de vida del producto sirve como base para la curva 80-20.

La curva 80-20

El problema logístico de cualquier empresa es el total de problemas individuales de los productos. La línea de productos de una típica empresa está conformada por artículos individuales en diferentes etapas de sus respectivos ciclos de vida y con diferentes grados de éxito de ventas. En cualquier punto del tiempo, esto crea un fenómeno de productos conocido como la curva 80-20, concepto particularmente valioso para la planeación logística.

Después de observar los patrones de productos en muchas empresas, el concepto 80-20 se deriva de que el volumen de ventas es generado por relativamente pocos productos en la línea de productos, y del principio conocido como la ley de Pareto[3]. Es decir, 80% de las ventas de una empresa se generan por 20% de los artículos de la línea de productos. Rara vez se observa una relación exacta 80-20, pero la desproporcionalidad entre las ventas y el número de artículos por lo general es verdadera.

Para ilustrarlo, considere los 14 productos de una pequeña compañía química. Estos productos están clasificados según su volumen de ventas, como se muestra en la tabla 3-1

Tabla 3-1 Clasificación ABC de 14 productos de una compañía química

Número del producto	Rango del producto por ventas[a]	Ventas mensuales (000s)	Porcentaje acumulativo del total de las ventas[b]	Porcentaje acumulativo del total de los artículos[c]	Clasificación ABC
D-204	1	$ 5,056	36.2%	7.1%	
D-212	2	3,424	60.7	14.3	*A*
D-185-0	3	1,052	68.3	21.4	
D-191	4	893	74.6	28.6	
D-192	5	843	80.7	35.7	*B*
D-193	6	727	85.7	42.9	
D-179-0	7	451	89.1	50.0	
D-195	8	412	91.9	57.1	
D-196	9	214	93.6	64.3	
D-186-0	10	205	95.1	71.4	
D-198-0	11	188	96.4	78.6	*C*
D-199	12	172	97.6	85.7	
D-200	13	170	98.7	92.9	
D-205	14	159	100.0	100.0	
		$13,966			

[a] Clasificados según el volumen de ventas
[b] Suma de las ventas de artículos ÷ ventas totales, por ejemplo (5,056 + 3,424) ÷ 13,966 = 0.607
[c] Rango de artículo ÷ número total de artículos, por ejemplo, 6 ÷ 14 = 0.429

[3] La curva 80-20 fue observada por primera vez por Vilfredo Pareto en 1897, durante un estudio sobre la distribución del ingreso y la riqueza en Italia. Concluyó que un gran porcentaje del ingreso total estaba concentrado en las manos de un pequeño porcentaje de la población, en una proporción de casi 80 a 20%, respectivamente. La idea general ha hallado amplia aplicación en los negocios.

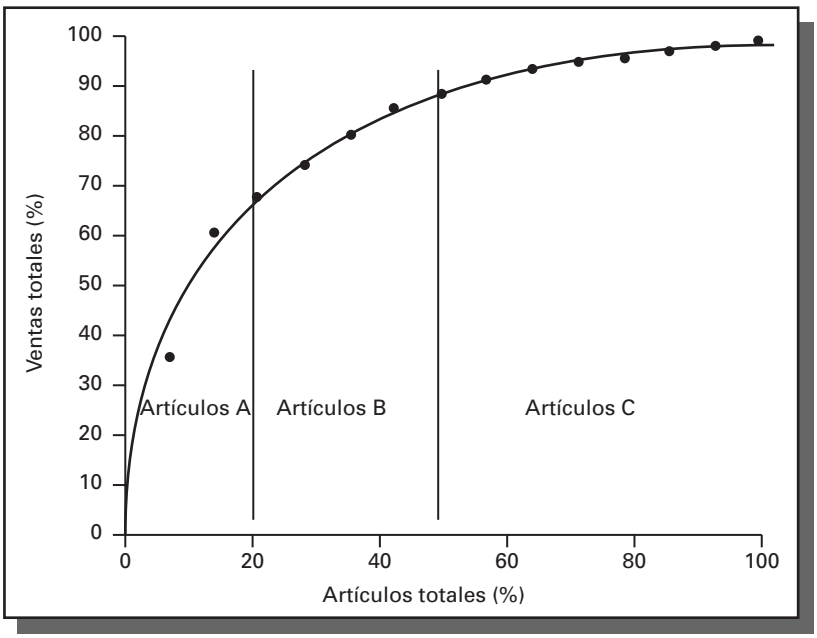


Figura 3-2 Curva 80-20 con una clasificación arbitraria de productos ABC.

Fuente: Datos de la compañía química de la tabla 3-1.

Se calcula un porcentaje acumulativo del total de las ventas en dólares y del total del número de artículos. Luego, estos porcentajes son graficados, como se muestra en la figura 3-2, la cual muestra la curva característica 80-20. Sin embargo, en este caso en particular, alrededor de 35% de los artículos corresponde a 80% de las ventas.

El concepto 80-20 es particularmente útil para planear la distribución cuando los productos se agrupan o clasifican según su actividad de ventas. El primer 20% podría llamarse artículos *A*, el 30% siguiente artículos *B* y el restante artículos *C*. Cada categoría de artículos podría distribuirse de manera diferente. Por ejemplo, los artículos *A* podrían recibir una amplia distribución geográfica a través de muchos almacenes con altos niveles de disponibilidad de existencias, en tanto que los artículos *C* podrían distribuirse desde un punto de venta único y central (por ejemplo, una planta) con niveles totales de surtido más bajos que para los artículos *A.* Los artículos *B* tendrían una estrategia de distribución intermedia, en la que se usarían pocos almacenes regionales.

Otro uso frecuente del concepto 80-20 y de la clasificación ABC es agrupar los productos en un almacén, u otro punto de venta, en un número limitado de categorías donde luego son manejados con diferentes niveles de disponibilidad de existencias. Las clasificaciones de los productos son arbitrarias. El hecho es que no todos los productos deberían recibir el mismo tratamiento logístico. El concepto 80-20 (con una clasificación resultante de productos) proporciona un esquema, basado en la actividad de ventas, para determinar los productos que recibirán los diferentes niveles de tratamiento logístico.

Para propósitos analíticos, es útil describir la curva 80-20 matemáticamente. Aunque pudiera usarse un número de ecuaciones matemáticas, se ha sugerido la siguiente relación:[4]

$$Y = \frac{(1 + A)X}{A + X} \qquad \textbf{(3-1)}$$

donde

Y = fracción acumulativa de ventas
X = fracción acumulativa de artículos
A = una constante por determinarse

La constante A puede hallarse si se manipula la ecuación (3-1) para dar

$$A = \frac{X(1 - Y)}{Y - X} \qquad \textbf{(3-2)}$$

donde se conoce la relación entre Y y X. Por ejemplo, si 25% de los artículos representan 70% de las ventas, entonces, de la ecuación (3-2)

$$A = \frac{0.25(1 - 0.70)}{0.70 - 0.25} = 0.1667$$

La ecuación (3-1) puede usarse para determinar la relación entre varios porcentajes de artículos y de ventas.

Ejemplo

Considere cómo la regla 80-20 es útil para estimar niveles de inventarios. Suponga que en un almacén determinado se tienen que almacenar 11 de los 14 artículos mostrados en la tabla 3-1. Se espera que se mantenga la misma relación general, es decir, $X = 0.21$ y $Y = 0.68$, o que 21% de los artículos arroja 68% de las ventas. Resolviendo la ecuación (3-2) resulta que $A = 0.143$. Se mantiene una política de inventario distinta para los diferentes grupos de productos. La relación del coeficiente de rotación (es decir, ventas anuales/inventario promedio) para los artículos *A* es de 7 a 1, para los artículos *B* es de 5 a 1, y para los artículos *C* es de 3 a 1. Si se estima que las ventas anuales a través del almacén vayan a ser de $25,000, ¿cuánta inversión de inventario en el almacén puede esperarse?

[4] Paul S. Bender, "Mathematical Modeling of the 20/80 Rule: Theory and Practice", *Journal of Business Logistics*, Vol. 2, Núm. 2 (1981), págs. 139-157.

Si la relación tiene que establecerse con los datos reales de ventas de artículos, la constante A puede hallarse usando el procedimiento del ajuste de curva por mínimos cuadrados. Esto significa resolver la siguiente expresión:

$$\sum_{i}^{N} \frac{Y_i X_i - Y_i X_i^2}{(A + X_i)^2} - \sum_{i}^{N} \frac{(1 + A)(X_i^2 - X_i^3)}{(A + X_i)^3} = 0$$

donde Y_i y X_i son pares de datos individuales en una muestra total de tamaño N. El valor de A es determinado después mediante aproximaciones sucesivas. Es mejor construir un pequeño programa de cómputo para hacer estos cálculos. Cuando esta técnica fue aplicada a los datos de la tabla 3-1, se halló un valor de A de 0.143.

Los artículos existentes en el almacén se muestran en la tabla 3-2. Son los mismos de la tabla 3-1, a excepción de los artículos 5, 8 y 9, los cuales se seleccionaron para que no entraran. El resto de los artículos están clasificados según su nivel relativo de ventas, del más alto al más bajo. La proporción acumulada de artículos es determinada de $1/N$ para el primer artículo, $2(1/N)$ para el segundo, $3(1/N)$ para el tercero, etc. La constante A se halla de la ecuación (3-2), o $A = [0.21(1 - 0.68)]\ [0.68 - 0.21] = 0.143$. La proporción de ventas acumuladas se halla aplicando la ecuación (3-1), donde $A = 0.143$. Las ventas del primer artículo serían

$$Y = \frac{(1 + 0.143)(0.0909)}{(0.143 + 0.0909)} = 0.4442,$$

que es la fracción de las ventas totales de almacén representadas por el primer artículo, es decir $(0.4442 \times \$25{,}000) = \$11{,}105$. El procedimiento se repite para cada artículo de la lista. La venta proyectada de los artículos es la diferencia entre las ventas acumuladas para los artículos sucesivos.

El valor promedio de inventario se halla, entonces, dividiendo las ventas proyectadas del artículo entre su coeficiente de rotación. La suma de los valores de inventario del artículo es de \$4,401, que es la inversión esperada en el inventario del almacén.

Tabla 3-2 Estimación de la inversión en el inventario del almacén usando la curva 80-20

Producto		Artículo núm.	Proporción acumulada del artículo (X)	Ventas acumuladas (Y)	Ventas proyectadas por artículo	Relación de coeficiente de rotación	Inventario promedio
D-204	A	1	0.0909[a]	\$11,105	\$11,105	7	
D-212		2	0.1818	15,994	4,889	7	
					\$15,994		\$2,285[c]
D-185-0	B	3	0.2727	18,745	2,751[b]	5	
D-192		4	0.3636	20,509[d]	1,764	5	
D-193		5	0.4545	21,736	1,227	5	
D-179-0		6	0.5454	22,639	903	5	
					\$ 6,645		\$1,329
D-195	C	7	0.6363	23,332	693	3	
D-198-0		8	0.7272	23,879	547	3	
D-199		9	0.8181	24,323	444	3	
D-200		10	0.9090	24,691	368	3	
D-205		11	1.0000	25,000	309	3	
					\$ 2,361		\$ 787
					\$25,000		\$4,401

[a] $1/N = 1/11 = 0.0909$
[b] $18{,}745 - 15{,}994 = 2{,}751$
[c] $\$15{,}994/7 = \$2{,}285$
[d] $[(1 + 0.143)(0.3636)/(0.143 + 0.3636)] \times [25{,}000] = \$20{,}509$

CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO

Las características más importantes del producto que influyen en la estrategia de la logística son los atributos del producto en sí mismo: peso, volumen, valor, si son perecederos o no, inflamabilidad y sustituibilidad. Cuando se observan en varias combinaciones, estas características son una indicación de los requerimientos de almacenamiento, inventarios, transporte, manejo de materiales y procesamiento de pedidos. Estos atributos pueden comentarse mejor si los agrupamos en cuatro categorías: relación peso-volumen, relación valor-peso, sustituibilidad y características de riesgo.

Relación peso-volumen

La relación del peso con el volumen de un producto es una medida particularmente significativa, ya que los costos de transporte y almacenamiento están directamente relacionados con ellos. Los productos que son densos, es decir, los que tienen una alta relación peso-volumen (por ejemplo, acero laminado, materiales de impresión y comida envasada), muestran una buena utilización del equipo de transporte y de las instalaciones de almacenamiento, con los costos de ambos con tendencia a ser bajos. Sin embargo, para productos con baja densidad (por ejemplo, pelotas de playa infladas, botes, bolsas de patatas fritas y pantallas para lámparas), la capacidad de volumen del equipo de transporte estará totalmente saturada antes de que se alcance el límite de peso que pueda transportar. Asimismo, los costos de manejo y de espacio, que se basan en el peso, tienden a ser altos en relación con el precio de venta del producto.

El efecto de variar las relaciones de peso-volumen en los costos de logística se muestra en la figura 3-3. Cuando la densidad del producto aumenta, los costos de almacenamiento y transporte descienden como porcentajes del precio de venta. Si bien el precio también puede reducirse por costos de transporte y almacenamiento más bajos, éstos sólo son dos factores de costos entre los muchos que conforman el precio. Por lo tanto, los costos de logística pueden disminuir más rápido que el precio.

Figura 3-3 Efecto generalizado de la densidad del producto en los costos de logística.

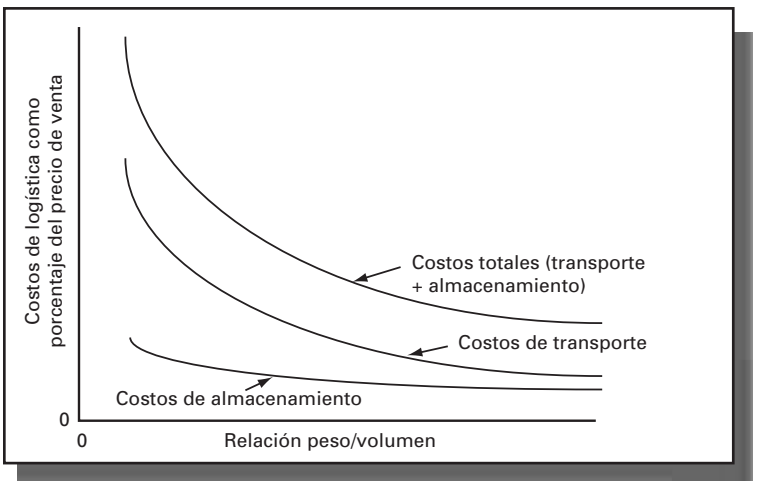
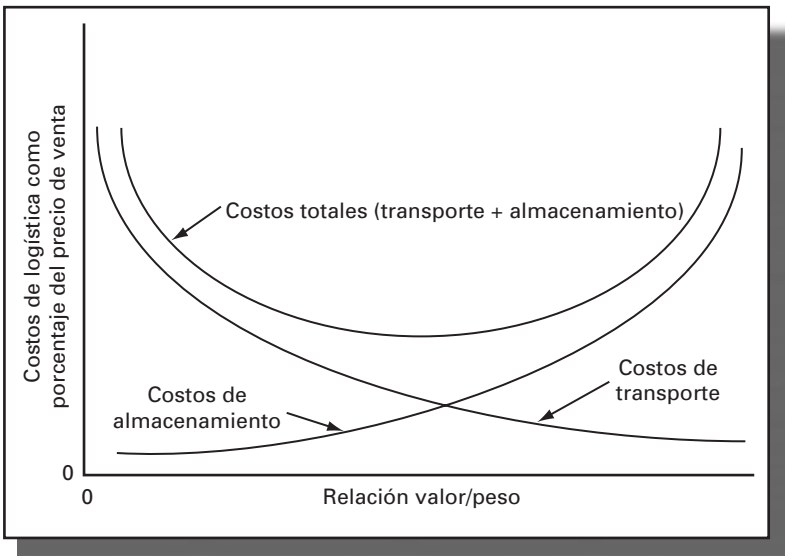


Figura 3-4
Efecto generalizado de la densidad del producto por dólar de los costos de logística.



Ejemplos

J.C. Penney envía muebles desmontados del catálogo para reducir el volumen del producto empacado y tener costos de transporte más bajos, pero esta práctica obliga al cliente a armarlos.

Un fabricante de repisas de acero para almacenamiento las envía desmontadas a un punto de ensamble posterior en el canal de distribución, donde las partes cruzadas son soldadas al marco y el volumen del producto se incrementa lo más cerca posible del lugar de venta. Una vez más, los costos de transporte se reducen al controlar de esta manera la relación peso-volumen.

Relación valor-peso

El valor en dólares del producto que se mueve y almacena es importante para los costos de almacenamiento en cuanto a que estos costos son particularmente sensibles a éste. Cuando el valor del producto se expresa como una relación con el peso, emergen algunos costos obvios de equilibrio que son útiles al planear el sistema de logística. En la figura 3-4 se muestra el equilibrio.

Los productos que tienen bajas relaciones de valor-peso (por ejemplo, carbón, mineral de hierro, bauxita y arena) también tienen bajos costos de almacenamiento pero altos costos de movimiento como porcentaje de su precio de venta. Los costos de manejo de inventario se calculan como una fracción del valor del producto. Un bajo valor del producto significa un bajo costo de almacenamiento, dado que los costos de manejo de inventario son el factor dominante en el costo de almacenamiento. El costo de transporte, por otra parte, está estabilizado con el peso. Cuando el valor del producto es bajo, los costos de transporte representan una alta proporción del precio de venta.

Los productos con alta relación valor-peso (por ejemplo, equipo eléctrico, joyería e instrumentos musicales) muestran el patrón opuesto, con costos más altos de almacena-

miento y más bajos de transporte. Esto resulta en una curva de costos logísticos totales con forma de U. En consecuencia, las empresas que tratan con productos de baja relación valor-peso frecuentemente intentan negociar tarifas de transporte más favorables (las tarifas por lo general son más bajas para las materias primas que para los productos terminados del mismo peso). Si el producto tiene alta relación valor-peso, una reacción típica es minimizar la cantidad de inventario mantenido. Por supuesto, algunas empresas intentan ajustar una relación contraria valor-peso cambiando los procedimientos de contabilidad para alterar el valor o cambiando los requerimientos del embalaje para alterar el peso.

Sustituibilidad

Cuando los clientes encuentran poca o ninguna diferencia entre el producto de una empresa y los de los proveedores de la competencia, se dice que los productos son altamente sustituibles. Es decir, que el cliente está muy dispuesto a tomar una marca de segunda opción cuando la primera no está disponible de inmediato. Muchos productos alimenticios y farmacéuticos tienen una característica altamente sustituible. Como puede esperarse, los proveedores gastan grandes sumas de dinero intentando convencer a los clientes de que dichos productos genéricos, como pastillas de aspirina y jabones para la ropa, no son todos iguales. Los gerentes de distribución intentan suministrar una disponibilidad del producto a un nivel tal que los clientes no tengan que considerar un producto sustituto.

En gran parte, el responsable de la logística no tiene control sobre la sustituibilidad de un producto; sin embargo, tiene que planear la distribución de los productos con grados de sustituibilidad que varían. La sustituibilidad puede verse en términos de ventas perdidas para el proveedor. Una mayor sustituibilidad por lo general significa una oportunidad mayor para que un cliente pueda seleccionar un producto de la competencia, lo que resultaría en una venta perdida para el proveedor. En general, el gerente de logística aborda ventas perdidas en las opciones de transporte, de almacenamiento o ambas. Como ilustración, véase la figura 3-5.

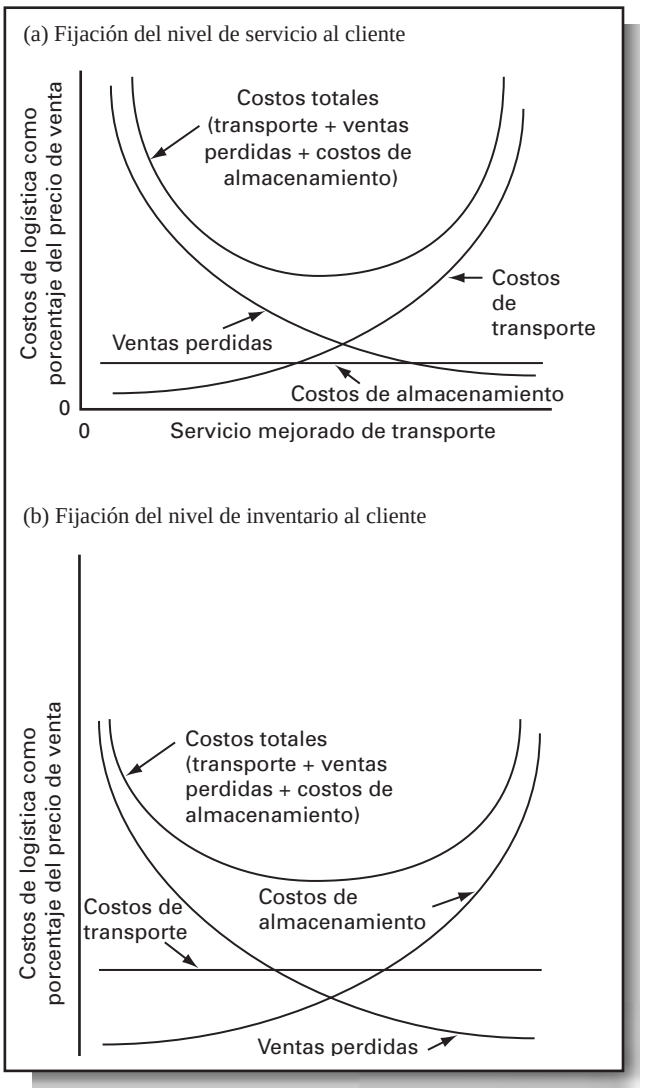
En la figura 3-5(a) se muestra que una mejora en el transporte se puede usar para reducir las ventas perdidas. Para un nivel promedio de inventario dado, un proveedor puede incrementar la velocidad y la confiabilidad de los repartos del producto y disminuir la incidencia de pérdidas y daños. El producto llega a estar disponible con más rapidez para el cliente, y es probable que ocurran menos sustituciones del producto por parte del cliente. Por supuesto, el costo más alto de prima de transporte está en el equilibrio con el costo de las ventas perdidas. La figura 3-5(b) muestra el mismo tipo de costo de equilibrio, excepto que la disponibilidad de existencias para el cliente está controlada mediante el nivel de inventario, con la opción del transporte que permanece constante.

En cualquier caso, el gerente de logística está en una posición importante para controlar el impacto de la sustituibilidad del producto en beneficio de la empresa.

Características de riesgo

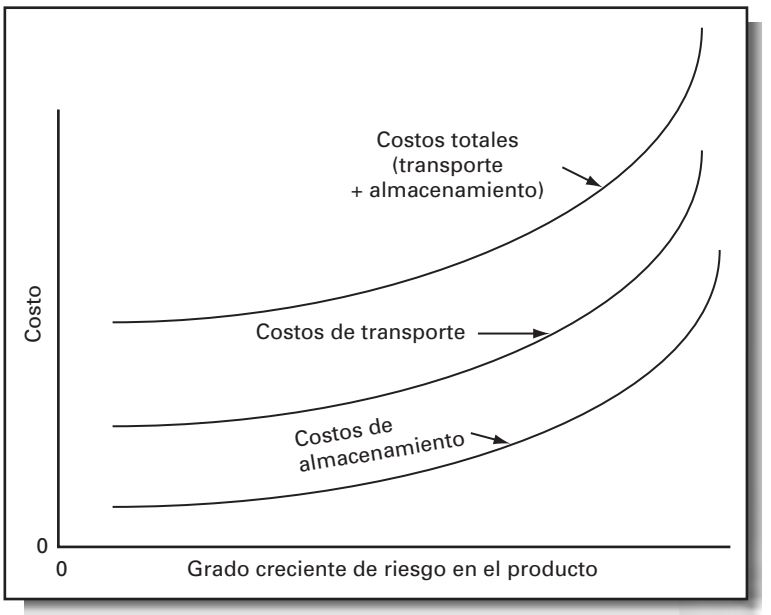
Las características de riesgo del producto se refieren a aspectos como si son perecederos o no, si son inflamables o no, el valor, la tendencia a explotar y la facilidad de ser robados. Cuando un producto muestra alto riesgo en uno o más de estos aspectos, simplemente fuerza a ciertas restricciones en el sistema de distribución. Tanto los costos del transporte como los de almacenamiento son más altos en dólares absolutos y como porcentaje del precio de venta, tal como se muestra en la figura 3-6.

Figura 3-5
Efecto generalizado del servicio de transporte y nivel promedio de inventario en los costos de logística para un producto con determinado grado de sustituibilidad.



Tómense en cuenta productos como bolígrafos, relojes o cigarrillos, que tienen un alto riesgo de ser robados. Se debe tener cuidado especial en su manejo y transporte. Dentro de los almacenes, se fijan enrejados especiales y áreas cerradas con llave para manejar éstos y otros artículos similares. Los productos altamente perecederos (por ejemplo, frutas frescas y sangre entera) requieren almacenamiento y transporte refrigerado, así como los productos que puedan tener tendencia a contaminar los productos alimenticios frescos, como llantas de automóviles, no pueden ser almacenados cerca de ellos en las bodegas. Ya sea en transporte, almacenamiento o embalaje, el tratamiento especial aumenta el costo de distribución.

Figura 3-6
Efecto generalizado del riesgo del producto en los costos de logística.



EMBALAJE DEL PRODUCTO

Con la excepción de un número limitado de artículos, como materias primas a granel, automóviles y muebles, la mayor parte de los productos se distribuyen en algún tipo de embalaje. Hay un buen número de razones por las que se incurre en el gasto de embalaje, las cuales pueden ser para:

- Facilitar el almacenamiento y el manejo.
- Promover una mejor utilización del equipo de transporte.
- Brindar protección al producto.
- Promover la venta del producto.
- Cambiar la densidad del producto.
- Facilitar el uso del producto.
- Proporcionar valor de reutilización para el cliente.[5]

No todos estos objetivos pueden alcanzarse mediante la dirección de logística. Sin embargo, cambiar la densidad del producto y el embalaje protector son motivos de ocupación en esta materia. Ya se ha comentado la necesidad de cambiar la densidad del producto para lograr costos de logística más favorables (véase una vez más la figura 3-3).

El embalaje protector es una dimensión particularmente importante del producto para la planeación logística. En muchos aspectos, el embalaje es el foco de la planeación, con el producto mismo como segundo tema. El empaque es el que tiene la forma, volumen y

[5] Adaptado de Theodore N. Beckman y William R. Davidson, *Marketing*, 8a. ed. (Nueva York: Ronald Press, 1967), pág. 444.

peso. El producto puede no tener las mismas características. El punto es que si sacáramos un aparato de televisión de su empaque de cartón y lo reemplazáramos por un equipo para prueba de golpes (como se hace con frecuencia para probar el daño durante manejo rudo), el gerente de logística no trataría el envío de manera diferente (suponiendo que no conociera que se hubiera efectuado el cambio). El embalaje da un conjunto de características modificadas al producto.

El embalaje protector es un gasto añadido que es equilibrado con precios más bajos de transporte y almacenamiento, así como menos y más baratas reclamaciones por daños. El gerente de logística trata de equilibrar estos costos mientras trabaja de cerca con ventas e ingeniería para lograr los objetivos generales de embalaje.

Las consideraciones logísticas del diseño de embalaje pueden ser importantes para que marketing alcance sus objetivos. Controlar la densidad del producto puede ser crítico para el éxito de un producto.

Ejemplo

Johnson & Johnson identificó un mercado importante entre mujeres para un producto contra la incontinencia. Mediante la tecnología desarrollada para pañales, Johnson & Johnson creó Serenity, un producto como una taza en forma de bote, empacado en cajas de 12 o 24 unidades. Cuando el personal de marketing revisó el producto, la preocupación fue que su naturaleza voluminosa limitaría las ventas. El producto tendría que competir por un espacio restringido en los anaqueles de las tiendas minoristas, causando frecuentes desabastecimientos; además, su exposición para las clientas estaría limitada. El personal de logística llegó con la respuesta: *Cambiar la densidad del producto*. Doblando el producto por la mitad y después plegándolo en una bolsita pequeña, el tamaño de la caja resultante fue menos de la mitad de sus dimensiones anteriores. No sólo satisfizo la preocupación de marketing sobre el espacio en anaquel, sino que también ahorró en costos de almacenamiento, transporte y embalaje.

Fijación del precio del producto

Además de la calidad y el servicio, el precio también representa el producto para el cliente. Aunque por lo general el gerente de logística no es directamente responsable de fijar la política de precios, tiene influencia en estas decisiones. Esto es porque el precio del producto con frecuencia tiene relación con la geografía y porque los precios de incentivo a menudo están sujetos a estructuras de tarifas de transporte.

La fijación de precios es un problema complejo de toma de decisiones que implica teoría de la economía, teoría del comportamiento del comprador y teoría de la competencia, entre otros. La discusión aquí está limitada a métodos de fijación de precios relacionados geográficamente, y a promover los acuerdos de la fijación de precios que se derivan de los costos logísticos.

Métodos geográficos de fijación de precios

Los clientes no están concentrados en un único punto para la mayoría de los proveedores, sino que en general se hallan por amplias zonas. Esto significa que el costo total de distri-

buirles los productos varía con su ubicación. Entonces, ¿la fijación de precios es así de sencilla? ¡Claro que no! Las compañías pueden tener clientes por cientos de miles. Administrar precios separados llegaría a ser excesivamente pesado así como costoso. La opción de un método de fijación de precios depende en parte de equilibrar el detalle en la estructura de fijación de precios con los costos de administrarlo. Hay un número limitado de categorías que definen la mayor parte de los métodos de fijación geográfica de precios. Estas categorías de fijación de precios son LAB (libre a bordo/fob, *free on board),* por zona, sencilla o uniforme, ecualización del flete, y desde un punto base.

Fijación de precios LAB

Para entender la fijación geográfica de precios es mejor empezar considerando las opciones de fijación de precios LAB. Según los diccionarios, LAB es la traducción de fob o "*free on board*". En sentido práctico, esta política simplemente denota la ubicación en la cual el precio es efectivo. LAB en planta significa que el precio es cotizado en la ubicación de la fábrica. LAB destino significa que el precio es cotizado en la ubicación del cliente o sus alrededores. También implica que el cliente toma derecho de los bienes en el punto designado. Hay grandes alternativas bajo la fijación de precios LAB. LAB en planta y LAB en destino son las más populares.

El precio *LAB en planta* es un precio sencillo establecido en la ubicación de la fábrica (origen del envío). Los clientes toman propiedad de los bienes en este punto y son responsables de su transporte más allá de este punto. Como cuestión práctica, los clientes pueden hacer que el proveedor haga los arreglos de envío simplemente porque el proveedor puede estar mejor equipado y más habilitado para ello, o puede ser capaz de obtener costos de envío más bajos combinando los pedidos de diferentes clientes. En ese caso, los clientes son facturados por los costos de transporte originados.

Ejemplo

Los automóviles son cotizados bajo precio en la fábrica o puerto de entrada con un cargo de destino (transporte) en una cantidad que depende de dónde se ubica el cliente (concesionario de automóviles).

El *LAB en destino,* o *precio de entrega*, es el precio en la ubicación del cliente o sus alrededores. Bajo esta política, los costos de transporte ya están incluidos en el precio. Se espera que el proveedor haga todos los arreglos de transporte. Esta política reconoce que el proveedor puede estar en posición de manejar el transporte de manera más económica que el cliente, o que el cliente no tiene el deseo o la experiencia de hacer tales arreglos. Puede haber una ventaja neta en los costos de transporte para el comprador si éste tiene un volumen de envíos insuficiente para asegurar las tarifas de transporte tan bajas como las disponibles para el proveedor.

Ejemplo

Burger King fija los precios de sus comidas rápidas para el cliente en el punto de venta minorista. Todos los cargos de transporte para adquirir las materias primas de los productos ya están incluidos en los precios.

Son posibles muchas combinaciones de fijación de precios LAB en planta y destino, dependiendo de cómo se paguen los cargos de flete. En la figura 3-7 se muestra una variedad de estos arreglos.

Fijación de precios por zonas

Para aquellas compañías que tienen que lidiar con miles de clientes, no es necesariamente la política más sabia establecer un precio diferente para cada uno. Los proveedores de productos terminados a menudo no pueden permitirse el lujo de la complejidad administrativa de precios individuales. Asimismo, los precios en general tal vez tengan que ser algo más altos para sostener el costo de dicha estructura administrativa compleja.

La fijación de precios por zonas reduce la complejidad administrativa estableciendo un precio único dentro de una amplia zona geográfica. Se puede definir cualquier número de zonas, dependiendo del grado al cual una compañía quiera diferencias geográficas de precios. Por ejemplo, la Ball Corporation, fabricante de equipo de envasado para el hogar, creó 89 zonas de fijación geográfica de precios por todo el país.

Para ilustrar la fijación de precios por zonas en una menor escala, considere la política de fijación de precios de Colonial Originals[6], fabricante de muebles coloniales para armar y con forma terminada que vende por catálogo y en Internet. La compañía se localiza en Boston. Los precios de los muebles se fijan en Boston con un cargo de envío añadido. Esta es una forma de fijación de precios LAB en planta, con el proveedor arreglando el transporte. La variación es que el país se divide en ocho zonas según las designaciones del código postal, para lograr escalonamientos en los costos de transporte. En la tabla 3-3 se pueden derivar los precios efectivos para varias zonas de todo el país para una mesa de taberna que pesa 30 libras y cuesta $129.95 en la fábrica. Esta tabla da las tarifas de envío para cada zona, por peso, por servicio de entrega residencial en piso de United Parcel Service (UPS). El cliente tiene una opción. Fíjese que UPS no tiene zona 1. Mediante la tabla, pueden desarrollarse los precios efectivos de zona en todo el país para la mesa de taberna (figura 3-8).

Fijación de precios, sencilla o uniforme

Lo último en simplicidad de fijación de precios sería tener un único precio para todos los clientes, sin importar la ubicación. Este método de fijación de precios se usa para muchos artículos de comercio bajo reciprocidad, correo de primera clase y libros. Hay cierto encanto en los clientes de saber que en todas partes va a pagar el mismo precio por un producto. Sin embargo, dicha política de fijación de precios enmascara las diferencias en los costos de distribución para los diferentes clientes. Tales costos deben ser promediados.

Fijación de precios por ecualización del flete

Las preocupaciones prácticas de la competencia tienen un impacto en la estrategia de fijación de precios. Si dos compañías tienen igual eficiencia en producir y vender, lo que resulta en el mismo costo del producto en las ubicaciones de las fábricas, entonces la fijación competitiva de precios corresponde a los costos de transporte. Si los mercados no están equidistantes de cada ubicación de las fábricas, la empresa más lejana del lugar del mercado puede desear absorber una parte suficiente de los cargos de flete para alcanzar el precio

[6] Nombre encubierto.

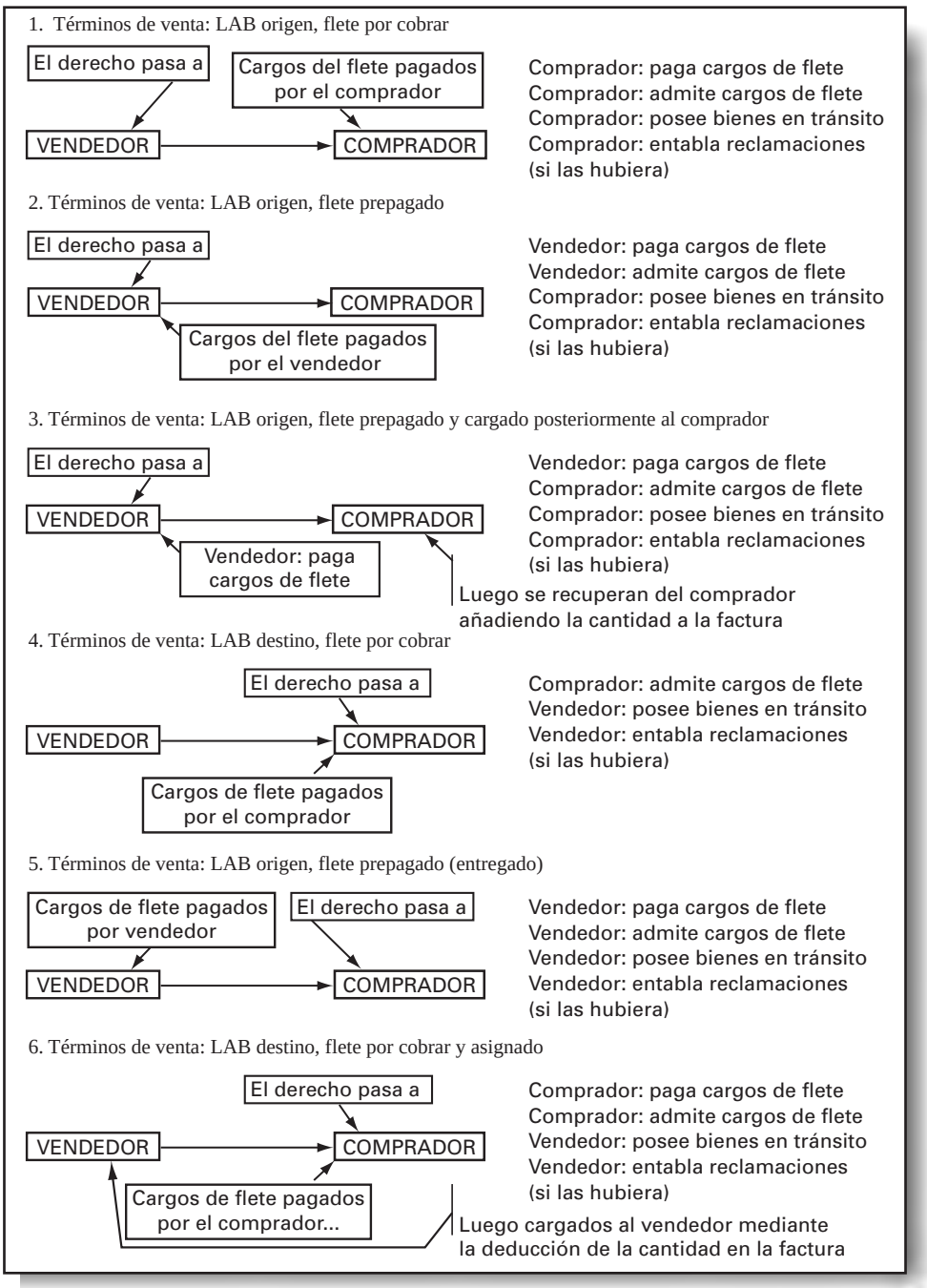


Figura 3-7 Variedad de arreglos de fijación de precios LAB.

Fuente: Edward J. Marien, "Making Sense of Freight Terms of Sale", *Transportation & Distribution* (septiembre de 1996), págs. 84-86.

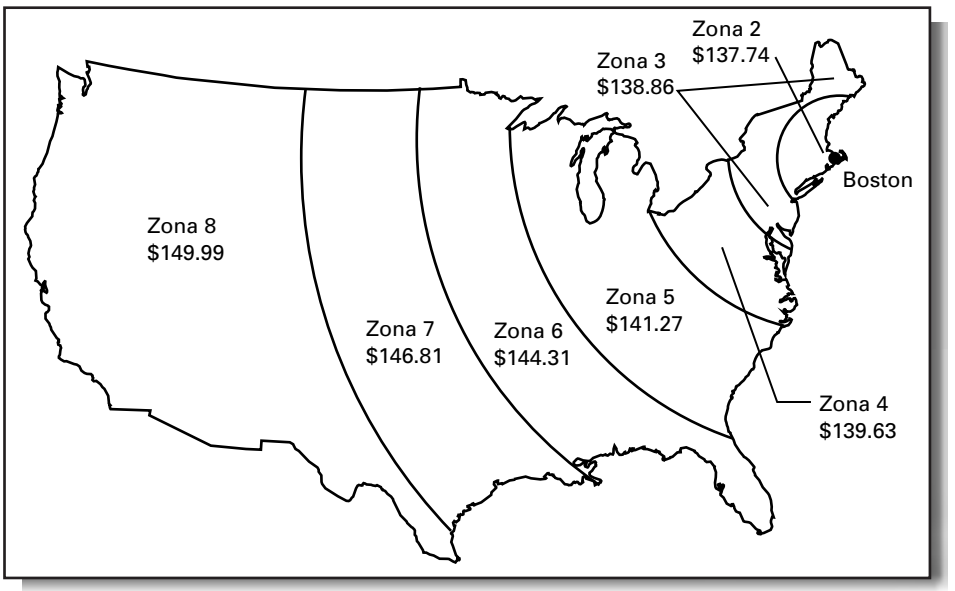


Figura 3-8 Precios por zona de una mesa para taberna enviada desde Boston.
Fuente: Tabla 3-3 y precio de la mesa LAB Boston.

de la competencia. Esta práctica se llama *ecualización del flete* y ocasiona diferentes rendimientos netos para la empresa involucrada en ella. Los costos de transporte, así como de producción a través de cierto número de localizaciones de producción, son promediados.

Fijación de precios desde un punto base

Como sucede con la ecualización del flete, los motivos que respaldan la fijación de precios desde un punto base son de naturaleza competitiva. La fijación de precios desde un punto base establece un punto diferente al punto desde el que en realidad se despacha el producto, como si fuera el punto desde el cual calcular el precio. El precio se calcula como si el producto fuera despachado desde un punto base (con referencia a un punto geográfico fijo). Si la ubicación elegida es la localización de un competidor importante, los precios pueden forzarse para que sean parecidos a los del competidor en toda la localización geográfica de los clientes. Esta nueva localización para el cálculo del precio se denomina *punto base.* Las empresas pueden usar puntos geográficos fijos (o base) sencillos o múltiples.

Las industrias de acero y cemento fueron antiguos líderes en el uso del método de la fijación de precios desde un punto base. Es comprensible porque este tipo de fijación de precios es atractivo cuando: 1) el producto tiene un alto costo de transporte relativo a su valor general; 2) hay poca preferencia entre los compradores en cuanto al proveedor del producto, y 3) hay relativamente pocos proveedores y cualquier recorte de precios lleva al desquite por parte de las empresas rivales. Desde la perspectiva del cliente, las industrias se localizan en los mismos puntos. Dado que en realidad esto no es cierto, el costo real de cada empresa para abastecer a un cliente dado es diferente. Entonces, ¿cómo puede una empresa cargar los mismos precios?

Tabla 3-3 Tarifas de envío por zonas desde Boston (código postal 010) para el servicio de entrega residencial en piso de United Parcel Service

Cargos de envío: Para hallar los cargos de envío, busque primero en la tabla de zonas el número de zona que corresponda al código postal del destino de la entrega. Luego, para el peso del envío, halle en la tabla de cargos de envío los cargos que correspondan al número de zona.

Tabla de zonas						Cargos de envío							
Primeros 3 dígitos del código postal	Zona núm.	Primeros 3 dígitos del código postal	Zona núm.	Primeros 3 dígitos del código postal	Zona núm.	Peso que no exceda de	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7	Zona 8
004–005	2	300–322	5	550–555	6	1 lb.	$4.16	$4.27	$4.50	$4.56	$4.75	$4.79	$4.90
010–041	2	323–325	6	556–559	5	2 lb.	4.23	4.43	4.77	4.88	5.17	5.27	5.53
042–046	3	326	5	560–576	6	3 lb.	4.32	4.59	4.98	5.14	5.44	5.59	6.01
047	4	327–339	6	577	7	4 lb.	4.44	4.74	5.19	5.41	5.71	5.85	6.33
048–049	3	341–342	6	580–585	6	5 lb.	4.58	4.88	5.38	5.62	5.92	6.12	6.65
050–079	2	344	5	586–593	7	6 lb.	4.73	5.01	5.53	5.83	6.13	6.39	6.92
080–086	3	346–349	6	594–599	8	7 lb.	4.88	5.13	5.64	5.99	6.34	6.60	7.18
087–128	2	350–353	5	600–634	5	8 lb.	5.02	5.26	5.75	6.10	6.50	6.86	7.61
129–132	3	354	6	635	6	9 lb.	5.15	5.39	5.85	6.21	6.66	7.18	8.03
133–135	2	355–362	5	636–639	5	10 lb.	5.29	5.50	5.96	6.37	6.88	7.61	8.51
136	3	363–367	6	640–676	6	11 lb.	5.43	5.63	6.07	6.52	7.14	8.09	9.04
137–139	2	368	5	677–679	7	12 lb.	5.57	5.77	6.17	6.68	7.41	8.57	9.63
140–142	3	369	6	680–689	6	13 lb.	5.70	5.92	6.27	6.79	7.72	9.04	10.22
143	4	370–374	5	690–693	7	14 lb.	5.81	6.07	6.37	6.90	8.10	9.52	10.79
144–146	3	375	6	700–729	6	15 lb.	5.92	6.23	6.46	7.06	8.47	10.00	11.38
147	4	376–379	5	730–736	7	16 lb.	6.01	6.40	6.62	7.27	8.85	10.47	11.97

148–149	3	380–381	6	737	6	17 lb.	6.10	6.58	6.78	7.53	9.25	10.96	12.56
150–165	4	382–385	5	738–739	7	18 lb.	6.19	6.77	6.99	7.85	9.64	11.43	13.13
166–179	3	386–397	6	740–749	6	19 lb.	6.30	6.96	7.21	8.17	10.03	11.92	13.72
180–181	2	399	5	750–754	7	20 lb.	6.42	7.15	7.42	8.49	10.42	12.34	14.31
182	3	400–410	5	755–757	6	21 lb.	6.55	7.34	7.64	8.81	10.81	12.76	14.89
183	2	411–412	4	758–797	7	22 lb.	6.68	7.53	7.86	9.13	11.22	13.18	15.47
184–187	3	413–427	5	798–799	8	23 lb.	6.82	7.72	8.09	9.39	11.61	13.67	16.06
188	2	430–449	4	800–812	7	24 lb.	6.96	7.91	8.31	9.66	12.00	14.14	16.64
189–199	3	450–454	5	813–815	8	25 lb.	7.10	8.07	8.54	9.93	12.39	14.63	17.23
200–205	4	455–458	4	816–820	7	26 lb.	7.24	8.24	8.75	10.19	12.78	15.05	17.76
206–208	3	459–479	5	821	8	27 lb.	7.37	8.39	8.99	10.46	13.17	15.47	18.29
209	4	480–489	4	822–828	7	28 lb.	7.51	8.56	9.23	10.74	13.58	15.90	18.88
210–214	3	490–491	5	829–874	8	29 lb.	7.65	8.72	9.46	11.03	13.97	16.38	19.46
215	4	492	4	875–877	7	30 lb.	7.79	8.91	9.68	11.32	14.36	16.86	20.04
216–219	3	493–499	5	878–880	8	40 lb.	9.07	10.71	11.97	14.23	18.09	21.64	25.72
220–241	4	500–505	6	881	7	50 lb.	10.05	12.36	13.99	17.00	21.10	26.05	30.73
242	5	506–507	5	882–883	8	60 lb.	10.91	13.42	15.47	18.98	23.44	28.18	33.38
243–279	4	508–516	6	884	7	75 lb.	27.43	29.26	31.13	31.90	33.93	36.68	39.76
280–282	5	520–539	5	885–898	8	100 lb.	40.88	42.39	42.76	44.01	46.58	47.90	50.50
283–285	4	540	6	900–961	8	125 lb.	50.02	51.69	52.33	53.05	56.40	58.26	60.86
286–299	5	541–549	5	970–994	8	150 lb.	59.05	60.99	61.89	62.09	66.24	68.62	71.23

Fuente: Zonas y cargos de envío de la página Web de United Parcel Service, http: // www.ups.com

Algunos temas legales

Cada vez que un método de fijación de precios genera precios que no están en línea con el costo de producir, vender y distribuir el producto, afloran ciertas consideraciones legales. Para el gerente de logística, a menos que los costos de transporte reales se reflejen en el producto de cada consumidor, hay un grado de discriminación de precios. Los métodos de fijación de precios sencillo, por zona, ecualización del flete o desde un punto base son inherentemente discriminatorios. Por ejemplo, si se carga el mismo precio en toda una zona, los clientes más cercanos al punto desde donde los bienes son repartidos absorben más de su participación de los costos de transporte, o están pagando más por algo de flete "fantasma". Por lo contrario, aquellos clientes situados en las partes más lejanas de la zona son subsidiados. La cantidad del flete subsidiado depende del tamaño de la zona.

Aunque algunos métodos para la fijación de precios geográfica pueden ser discriminatorios, algunas veces esta discriminación puede ser beneficiosa para todos los clientes, incluso aunque los beneficios puedan no ser uniformes. Los costos reducidos relacionados con el manejo de precios más bajos pueden ser suficientes para compensar los cargos del flete fantasma al cliente localizado menos favorablemente.

La Comisión Federal de Comercio ha puesto en tela de juicio algunas políticas de fijación de precios de entrega y de absorción de flete. Sin embargo, tales políticas no son necesariamente ilegales en tanto que: el vendedor esté dispuesto a vender en una base LAB a la petición del comprador; el vendedor mantenga uniformidad de precio en todos los puntos de entrega (como en el caso de una única política de precios nacional); el precio, después de la absorción del flete, sea más alto que el del competidor; y los compradores o sus clientes no sean competitivos.

Formas de incentivar la fijación de precios

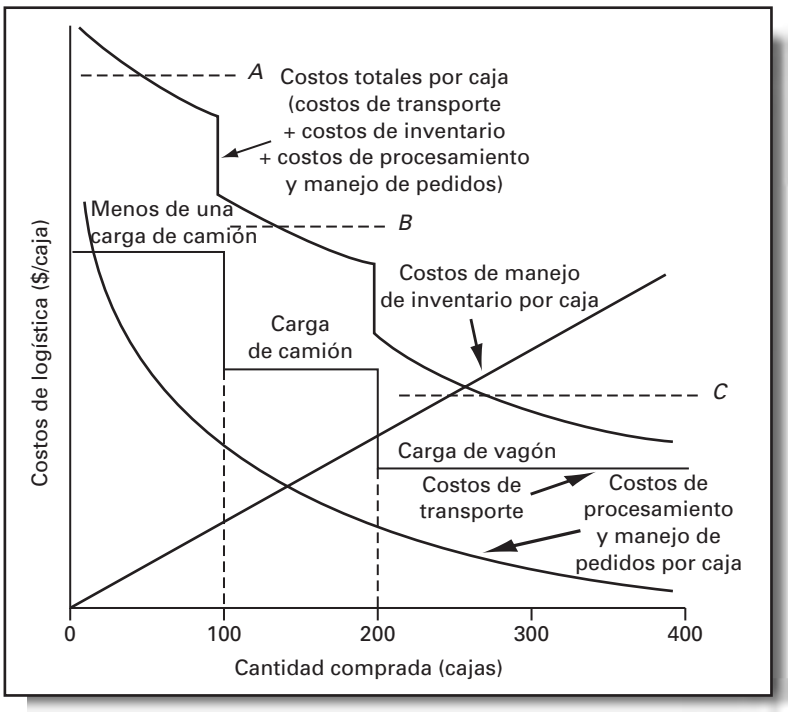
Los costos de logística a menudo son una fuerza impulsora detrás de los incentivos de precios. Dos tipos comunes de incentivos de precios son el descuento por cantidad y "el acuerdo".

Descuentos por cantidad

La teoría económica enseña que cuantos más bienes sean manejados en una sola transacción, más bajo será el costo por unidad. El principio se conoce como *economías de escala*, donde los costos fijos que se extienden sobre un número creciente de unidades reducen los costos unitarios. Esta idea ha llevado a muchas empresas a usar el volumen de compra como una manera de ofrecer precios más bajos a los compradores e incrementar las ventas del proveedor. El comprador se beneficia de un precio más bajo si la compra mayor puede absorberse, y el proveedor se beneficia por el incremento de las ganancias.

Las restricciones legales han complicado el uso de descuentos por cantidad como un estimulante de las ventas. Algunas empresas se han desanimado de usarlas juntas. La embestida de la ley Robinson-Patman, dirigida a las prácticas competitivas, dice que es ilegal discriminar en precio entre diferentes compradores si el efecto es disminuir la competencia o crear un monopolio. Los descuentos por cantidad crean potencialmente esta discriminación, pero pueden justificarse en términos de los ahorros de costos obtenidos en las actividades de fabricación, venta y distribución. En la práctica es difícil demostrar

Figura 3-9
Costos de logística por caja como una justificación para descuentos de precios.



en forma convincente que los ahorros de costos en la fabricación y venta tengan lugar en una base por ventas. Por otra parte, los costos de logística, que están principalmente compuestos por los costos de transporte, tienen bien conocidos sus puntos de ruptura de costos por volumen. Si el transporte es contratado externamente a la compañía, se dispondrá de la documentación sobre el ahorro de costos en los registros públicos. De aquí que los costos de logística lleguen a ser un factor clave en el apoyo de un esquema de descuentos, como puede ilustrarse en el siguiente ejemplo de un fabricante de productos de cristal.

Ejemplo

Los tarros de cristal para envasar conservas en los hogares se vendían antiguamente mediante distribuidores. Estos distribuidores podían comprar en diversas cantidades de casos. En la figura 3-9 se muestran los costos de fabricación incluidos en los costos logísticos totales del fabricante, según van variando con la cantidad comprada. Los costos de transporte son la clave para determinar a qué cantidad ocurrirá el punto de ruptura del precio y qué tan grande será dicha ruptura.

Si se compran menos de 100 cajas de una vez, el pedido debe ser enviado a tarifas menores a una carga de camión. Además de los costos de manejo de inventario necesarios para apoyar un pedido de ese tamaño y los costos unitarios de manejar el pedido, los costos totales por unidad promediarían para ser *A* en la figura 3-9. Comprar en cantidades de 100 a 199 cajas permite tarifas de carga de camión y un costo promedio total por uni-

dad de *B*. Comprar en cantidades de 200 cajas o más hasta llegar a un límite práctico de 400 cajas tiene un costo total promedio de *C*. Por lo tanto, si el precio se lleva en línea con los costos, no se ofrecerían descuentos al precio para pedidos de compra de 0 a 99 cajas. El descuento máximo para la compra de 100 a 199 casos sería $(A - B)/A$. Si *A* es \$2.20/caja y *B* es \$2.00/caja, los costos de transporte podrían reducirse en (2.20 – 2.00)/2.20 = 0.09, o 9%. Para el rango de 200 a 400 cajas, con un costo promedio de *C* o \$1.70/caja, el descuento en los costos de transporte podría ser de $(A - C)/A$, o (2.20 – 1.70)/2.20 = 0.23 o 23%. Si se añaden ahora los costos restantes de fabricación y ventas, incluyendo el recargo adicional o sobreprecio de \$10 por caja a los costos logísticos, el precio para el comprador sería

Cantidad de cajas	Precio de compra, \$/caja	Descuento del precio; %
0–99	\$12.20	0%
100–199	12.00	1.6[a]
Más de 200	11.70	4.1

[a] (12.20 – 12.00)/12.20 = 0.016 o 1.6%

El acuerdo

En ocasiones, algunas compañías ofrecen precios reducidos del producto durante un breve periodo a cambio de que sus clientes compren cantidades mayores que las normales. Una compañía vendedora puede desear reducir sus inventarios, mantener niveles de salida, o promover las ventas como motivaciones para bajar el precio. Desde la perspectiva del comprador, aceptar las compras bajo el incentivo del precio y cuánto comprar requiere comerciar el beneficio de la reducción de precios con los costos en los que incurre, los cuales por lo general son de naturaleza logística. El comprador debe sopesar el efecto de comprar una cantidad mayor que la normal con su beneficio de precio más bajo frente a los costos logísticos comunes de transporte, manejo de inventario y almacenamiento. La determinación del tamaño de la cantidad especial para comprar se comenta en el capítulo 10.

Comentarios finales

Comprender la naturaleza de un producto, un bien o un servicio en su ambiente económico proporciona un punto de vista útil para que los gerentes de logística planeen una estrategia para el suministro y la distribución. Por lo tanto, en este capítulo se han examinado conceptos tan importantes como el de la clasificación de los productos, el ciclo de vida del producto, la curva 80-20 y un grupo de características del producto.

La clasificación de los productos ayuda a su agrupación según como se comportan los clientes respecto de ellos mismos. Los clientes de bienes terminados requieren servicios de logística diferentes que los clientes industriales. Incluso los clientes dentro de la

misma clase tienen marcadas diferencias en las necesidades de servicio. A menudo, una buena estrategia de distribución puede ser obvia a raíz de una identificación y clasificación cuidadosas del producto.

El ciclo de vida del producto describe el nivel de actividades de ventas que la mayor parte de los productos han alcanzado con el tiempo. Las cuatro etapas del ciclo de vida: introducción, crecimiento, madurez y decaimiento, están bien documentadas. Cada etapa puede requerir una estrategia diferente de distribución.

La curva 80-20 expresa la relación de que 80% de las ventas de una empresa se derivan del 20% de sus productos. Esta curva simplemente es resultado de los productos que están en diferentes etapas de su ciclo de vida. Esta desproporcionalidad entre las ventas y el número de productos suele ser muy útil en el momento de decidir dónde ubicar los productos dentro del sistema de distribución y qué productos deberían incluirse en el inventario en cualquier punto de almacenamiento.

Las características de los productos se enfocan en ciertos aspectos físicos y económicos del producto, los cuales influyen en el diseño del sistema logístico de manera considerable. Estas características son la relación peso-volumen, la relación valor-peso, la sustituibilidad y el riesgo.

Se han comentado dos dimensiones adicionales del producto: 1) el embalaje o empaque, que puede alterar las características físicas de un producto, y por lo tanto los requerimientos de un sistema de distribución, y 2) con clientes dispersos geográficamente y costos que varían por ubicación geográfica, ciertos aspectos de la fijación de precios del producto son asunto del gerente de logística. Aunque el gerente de logística normalmente pudiera no ocuparse de temas de fijación de precios, el hecho es que el incentivo de la fijación de precios es quizá más fácilmente justificable en cuanto al costo de la logística que cualquier otra que pueda obligar al experto en la batalla de la fijación de precios.

Preguntas

1. Indique si considera que los siguientes tipos de empresas manejan bienes de conveniencia, de selección o especializados:
   a. Jack Spratt's Woodwind vende a músicos profesionales de instrumentos de viento de madera, instrumentos musicales y suministros a nivel nacional.
   b. Hart, Schaffner y Marx produce y vende, a nivel nacional, trajes de caballero listos para usar de alta calidad y moda.
   c. Edward's Bakery produce y vende, a nivel regional, una línea de bienes horneados, principalmente pan. La distribución es mediante cadenas de tiendas minoristas de alimentación.

   Describa lo que considere que podría ser un sistema de distribución eficiente en cada caso, tal y como pudiera ser dictado por las características del producto en cada situación.
2. Compare el ciclo de vida del producto de una marca de detergente para ropa con el de la obra de un artista contemporáneo. Sugiera cómo se podría manejar la distribución física de éstos en cada etapa de sus ciclos de vida.
3. Un minorista farmacéutico tiene dos maneras de reaprovisionar su mercancía de anaquel: directo de los vendedores o mediante el almacén de la compañía. Los artículos con alto volumen de ventas y alta cantidad de reaprovisionamiento por lo regular tienen una ventaja en el costo si se pueden comprar directo de los vendedores, porque no requieren almacenamiento ni manejo extra. El resto de los artículos se manejan más eficientemente

mediante el almacenamiento. El minorista ha oído del principio 80-20 y cree que pudiera ser una manera útil de separar la línea de productos en grupos de alto y bajo volumen para alcanzar las mayores economías de suministro.

Hay 12 artículos en una clase particular de fármaco. Los datos de ventas anuales se han recopilado aquí.

Código del producto	Venta en dólares
10732	$ 56,000
11693	51,000
09721	10,000
14217	9,000
10614	46,000
08776	71,000
12121	63,000
11007	4,000
07071	22,000
06692	14,000
12077	27,000
10542	18,000
Total	$391,000

Si el tamaño del pedido sigue de cerca el nivel de ventas, use el principio 80-20 para determinar los artículos que deberían comprarse directo a los vendedores. Use el 20% de los artículos como punto de ruptura.

4. Identifique algunos productos que tengan características extremas, como relación de peso-volumen, relación de valor-peso, sustituibilidad y riesgo. Algunas sugerencias son: bicicletas ensambladas, arena para hacer vidrio y medicamentos de prescripción vendidos al menudeo, pero debe elegir diferentes ejemplos. Explique cómo puede usarse el conocimiento de las características del producto para especificar o alterar la manera en que se distribuyen los productos.
5. Explique el papel que juega el embalaje del producto en el diseño de una estrategia de suministro o distribución.
6. Suponga que un cliente quiere comprar un paquete de muebles de Colonial Originals que tiene un precio de catálogo de $99.95 y un peso de envío de 26.5 libras.
   a. Mediante la tabla 3-3 determine el costo total del paquete si el envío se va a efectuar por el servicio de entrega residencial en piso de UPS a una de las siguientes áreas de código postal en Estados Unidos:
      i) 11101, *ii)* 42117, *iii)* 74001, *iv)* 59615.
   b. ¿Qué puede decir sobre la equidad y eficiencia de este arreglo de fijación de precios?
7. ¿Cuál es la motivación de un fabricante de productos básicos de acero para usar el método de fijación de precios de ecualización del flete?
8. ¿Por qué los esquemas de fijación de precios uniformes y por zonas son justos para los clientes cuando éstos son considerados como un todo, pero discriminatorios e injustos para una gran cantidad de ellos individualmente?
9. ¿Por qué los costos de logística, y especialmente los costos de transporte, son tan importantes en el desarrollo de los convenios para incentivar la fijación de precios?

10. Describa cómo se pagan los cargos de transporte bajo los siguientes términos de venta:
    a. LAB destino, flete prepagado.
    b. LAB origen, flete prepagado.
    c. LAB destino, flete por cobrar y asignado.
    d. LAB origen, flete prepagado y cargado posteriormente al comprador.
    e. LAB origen, flete por cobrar.

    Si la política de fijación de precios es tal que los clientes de una empresa pagan por el flete, ¿debería la empresa proveedora considerar tales costos al determinar la ubicación del almacén, la selección del servicio de transporte y otras decisiones parecidas?
11. Davis Steel Distributors está planeando establecer un almacén adicional en su red de distribución. Los análisis de los datos de ventas para sus otros almacenes muestran que 25% de los artículos representan 75% del volumen de ventas. La compañía también tiene una política de inventarios que varía con los artículos del almacén. Es decir, 20% de los artículos son artículos *A* y tienen que ser surtidos con un coeficiente de rotación de inventarios de 8. El siguiente 30% de los artículos, o artículos *B*, deben tener un coeficiente de rotación de 6. El resto de los artículos *C* deben tener un coeficiente de rotación de 4. Tiene que haber 20 productos en el almacén con ventas estimadas de almacén de $2.6 millones anualmente. ¿Qué valor (de dólar) de inventario promedio estimaría para el almacén?
12. Beta Products está planeando añadir otro almacén. Se almacenarían en él 10 productos de toda la línea. Estos productos serán artículos *A* y *B*. Todos los artículos *C* serán entregados fuera de la planta. Las estimaciones sobre ventas anuales que se esperan en la región de la nueva instalación son de 3 millones de cajas (artículos *A, B* y *C*). Los datos históricos muestran que 30% de los artículos equivalen a 70% de las ventas. El primer 20% de toda la línea es designado como artículos *A*, el siguiente 30% como artículos *B* y el 50% restante como artículos *C*. El coeficiente de rotación de inventarios en el nuevo almacén está proyectado que sea de 9 para los artículos *A* y de 5 para los *B*. Cada artículo de inventario, en promedio, requiere 1.5 pies cúbicos de espacio. El producto se apila en torres de 16 pies de altura en el almacén.

    ¿Qué espacio efectivo de almacenamiento se necesitará, en pies cuadrados, excluyendo pasillos, oficinas y otros requerimientos de espacio?
13. Un análisis de los artículos de línea de productos en las tiendas minoristas de la cadena Save More-Drug muestra que 20% de los artículos almacenados corresponde a 65% de las ventas en dólares. Una tienda común maneja 5,000 artículos. Los artículos que corresponden al 75% superior de las ventas se reaprovisionan de las existencias del almacén. El resto es enviado directo a las tiendas por los fabricantes o los intermediarios. ¿Cuántos artículos están representados en el 75% superior de las ventas?
14. Los costos relacionados con producción, distribución y ventas de un componente automotriz producido localmente para Honda, en Japón, pueden resumirse de la siguiente manera:

Tipo de costo	Costo por unidad, $
Compra de materiales	25
Mano de obra de fabricación	10
Gastos generales	5
Transporte	Varía según el envío
Ventas	8
Ganancia	5

Los costos de transporte varían de la siguiente manera: si la cantidad de compra (envío) es de 1,000 unidades o menos, el costo de transporte es de $5 por unidad. Para más de 1,000 unidades, pero menos de 2,000 unidades, el costo de transporte es de $4.00 por unidad. Para más de 2,000, el costo del transporte es de $3.00 por unidad.

Elabore un esquema de precios asumiendo que al vendedor le gustaría pasar los ahorros del transporte al cliente. Indique el porcentaje de descuento que recibirá el cliente mediante la compra de varias cantidades.

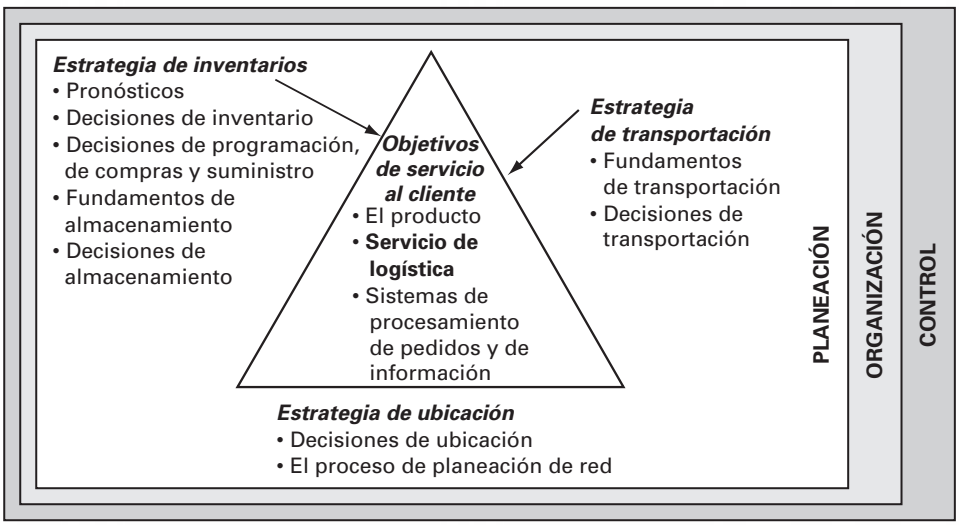
Capítulo 4

El servicio al cliente en la logística y la cadena de suministros

Quien piense que el cliente no es importante debería intentar trabajar sin él durante un periodo de noventa días.

—ANÓNIMO

Sus clientes perciben la oferta de toda compañía en términos de precio, calidad y servicio, y responden a ella de acuerdo con su preferencia o su falta de ella. El servicio, o el servicio al cliente, es un término amplio que puede incluir muchos elementos, que van desde la disponibilidad del producto hasta el mantenimiento después de la venta. Desde una perspectiva logística, el servicio al cliente es el resultado final de todas las actividades logísticas o procesos de la cadena de suministros. Por



ello, el diseño del sistema de logística establece el nivel que se ofrecerá del servicio al cliente. Los ingresos generados a partir de las ventas de los clientes y los costos relacionados con el diseño del sistema establecerán las utilidades que obtendrá la empresa. La decisión del nivel de servicio que se ofrecerá al cliente es esencial para cumplir con los objetivos de utilidad de la empresa.

En este capítulo estudiaremos el significado del servicio al cliente para la empresa como un todo y para la logística en forma específica. Se identificarán los elementos importantes del servicio. Se sugerirán métodos para determinar la relación entre las ventas y el nivel de servicio, y la forma como pueden utilizarse para obtener el nivel óptimo de servicio logístico al cliente. Por último, se analizará la planeación de las contingencias del servicio.

Definición de servicio al cliente

Dado que el servicio logístico al cliente necesariamente es una parte de la oferta total de servicio de la empresa, iniciaremos con el servicio desde una perspectiva de la empresa y posteriormente separaremos aquellos componentes que son específicos de la logística. Kyj y Kyj comentaron que

> . . . el servicio al cliente, cuando se utiliza de forma efectiva, es una variable fundamental que puede tener un impacto importante sobre la creación de la demanda y para mantener la lealtad del cliente.[1]

Para otro experto del servicio al cliente, el servicio al cliente

> . . . se refiere específicamente a la cadena de actividades orientadas a la satisfacción de las ventas, que en general inician con el ingreso del pedido y finalizan con la entrega del producto a los clientes, continuando en algunos casos como servicio o mantenimiento de equipo, u otros como soporte técnico.[2]

De forma más simple, Heskett establece que el servicio logístico al cliente para muchas empresas es

> . . . la velocidad y confiabilidad con la que pueden estar disponibles los artículos ordenados (por los clientes) . . .[3]

Más recientemente, el servicio al cliente se ha denominado *un proceso de satisfacción total*, el cual puede describirse como

> . . . el proceso integral de cumplir con el pedido de un cliente. Este proceso incluye la recepción del pedido (ya sea manual o electrónica), administración del pago, recolección y empacado de los productos, envío del paquete, entrega del mismo, y proporcionar el servicio al cliente para el usuario final así como el manejo de posible devolución de los productos.[4]

---

[1] Larissa S. Kyj y Myroslaw J. Kyj, "Customer Service: Differentiation in Internacional Markets", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management,* Vol. 24, Núm. 4 (1994), pág. 41.
[2] Warren Blanding, *11 Hiden Costs of Customer Service Management* (Washington, DC: Marketing Publications, 1974), pág. 3.
[3] James L. Heskett, "Controlling Customer Logistics Service", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management,* Vol. 24, Núm. 4 (1994), pág. 4.
[4] James E. Doctker, "Basics of Fulfillment", *Proceedings of the Council of Logistics Management* (Nueva Orleans, LA: Council of Logistics Management, 24-27 de septiembre de 2000), pág. 356.

Estas descripciones y definiciones del servicio al cliente son amplias y necesitan mayor refinamiento si queremos utilizarlas de manera eficaz.

Elementos del servicio al cliente

Desde una amplia perspectiva corporativa, el servicio al cliente se ha considerado como un ingrediente esencial dentro de la estrategia de marketing. El marketing con frecuencia se ha descrito en términos de una mezcla de actividades de las cuatro P's: *p*roducto, *p*recio, *p*romoción y *p*laza, donde la plaza representa mejor a la distribución física. Qué elementos constituyen el servicio al cliente y cómo impactan al comportamiento del comprador, ha sido el foco de una gran investigación a lo largo de los años.[5] Ya que el cliente no puede identificar fácilmente lo que motiva su comportamiento, la definición precisa del servicio al cliente seguirá siendo difícil de encontrar. Sin embargo, se puede obtener cierto entendimiento mediante varias encuestas al consumidor.

Un estudio detallado del servicio al cliente, patrocinado por el National Council of Physical Distribution Management,[6] identificó los elementos del servicio al cliente de acuerdo con el momento en que ocurre la transacción entre el proveedor y el cliente.[7] Estos elementos, enumerados en la figura 4-1, se agrupan en las categorías de pretransacción, transacción y postransacción.

Los *elementos de pretransacción* establecen un ambiente adecuado para un buen servicio al cliente. Mediante una declaración escrita de la política de servicio al cliente, así como del tiempo en que serán entregados los bienes una vez que se levante el pedido, el procedimiento para manejar devoluciones y órdenes atrasadas, y los métodos de envío, el cliente conocerá el tipo de servicio que habrá de esperar. El establecimiento de planes de contingencia para casos de huelga o desastres naturales que afecten al servicio normal, la creación de estructuras organizacionales para llevar a cabo las políticas de servicio al cliente, así como la capacitación y los manuales técnicos para los clientes, también contribuyen a buenas relaciones comprador-proveedor.

Los *elementos de transacción* son aquellos que dan por resultado directo la entrega del producto al cliente. El establecimiento de los niveles de inventario, las formas de transportación y la implantación de procedimientos para el procesamiento de pedidos son ejemplos de ello. Estos elementos, a su vez, afectan los tiempos de entrega, la precisión del cumplimiento de pedidos, la condición de los bienes por recibir y la disponibilidad de inventario.

Los *elementos postransacción* representan al conjunto de servicios necesarios para mantener el producto en el campo; proteger a los clientes de productos defectuosos; proporcionar la devolución de empaques (botellas retornables, cámaras reutilizables, tarimas, etcétera), y manejar las reclamaciones, quejas y devoluciones. Estos servicios se presentan después de la venta del producto, pero deben planearse en las etapas de pretransacción y de transacción.

El servicio corporativo al cliente es la suma de todos estos elementos, ya que los clientes reaccionan a la mezcla total. Naturalmente, algunos elementos son más impor-

[5] Francis G. Tucker, "Creative Customer Service Management", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management,* Vol. 24, Núm. 4 (1994), págs. 32-40.
[6] Renombrado como Council of Logistics Management.
[7] Bernard J. LaLonde y Paul H. Zinszer, *Customer Service: Meaning and Measurement* (Chicago: National Council of Physical Distribution Management, 1976).

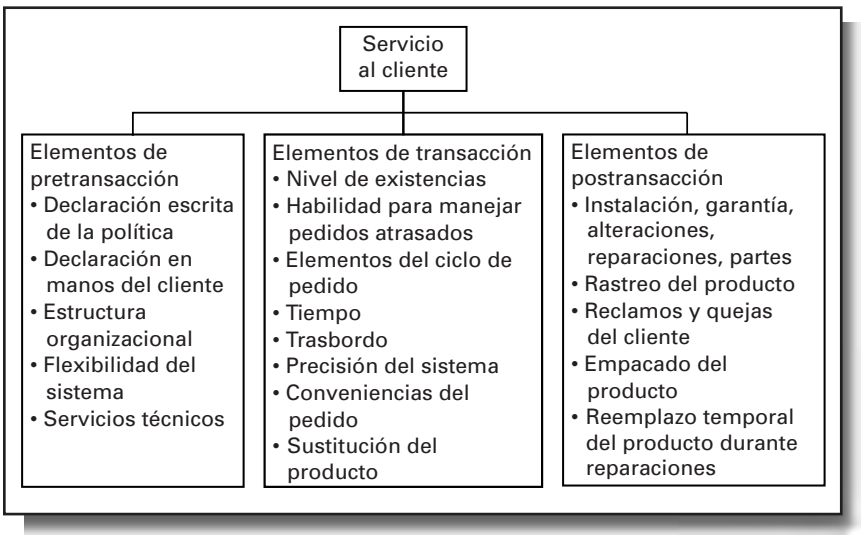


Figura 4-1 Elementos del servicio al cliente.

Fuente: Adaptado de Bernard J. LaLonde y Paul H. Zinszer, "Customer Service as a Component of the Distribution System", Working Paper Series WPS 75-4 (Columbus, OH: The Ohio State University, College of Administrative Science, febrero de 1975).

tantes que otros. Debido a esto, ¿qué elementos parecerían más importantes de manejar? Las investigaciones han mostrado algunos resultados interesantes.

Importancia relativa de los elementos de servicio

Sterling y Lambert estudiaron con cierta profundidad la industria de los sistemas y mobiliario de oficina, así como la industria del plástico. A partir de numerosas variables (99 y 112, respectivamente) que representan al producto, precio, promoción y distribución física, pudieron determinar las que eran más importantes para compradores, clientes y personas que influyen sobre la compra dentro de esta industria. Con base en los promedios de importancia, según lo indicaron los encuestados en una escala de uno a siete puntos, clasificaron los elementos de servicio en forma ordenada para cada una de estas industrias, según se muestra en la tabla 4-1. Para la industria de sistemas y mobiliario de oficina, concluyeron lo siguiente:

> La investigación mostró que la distribución física (DF / servicio al cliente) es un componente integral y necesario de la mezcla de marketing y que presenta una importante oportunidad para que las empresas obtengan una ventaja diferencial en el mercado. La evaluación de las 16 variables clasificadas como las más importantes por las empresas distribuidoras, usuarios finales, y de diseño y arquitectura reveló que al menos la mitad de ellas eran variables de servicio al cliente y distribución física.[8]

[8] Jay U. Sterling y Douglas M. Lambert, "Customer Service Research; Past, Present, and Future", *International Journal of Physical Distribution & Materials Management,* Vol. 19, Núm. 2 (1989), pág. 17.

Tabla 4-1 Variables del servicio al cliente clasificadas por orden de importancia para dos industrias

Industria de los sistemas y mobiliario de oficina			Industria del plástico		
Media/ desv. estándar[a]	Componente de la mezcla de marketing	Descripción	Media/ desv. estándar[a]	Componente de la mezcla de marketing	Descripción
6.5/.8	Logística	Capacidad del fabricante para cumplir la fecha de entrega prometida	6.6/.6	Producto	Las resinas del proveedor tienen calidad consistente
6.3/.8	Logística	Precisión para cumplir con el pedido	6.5/.8	Promoción	Calidad de la fuerza de ventas (honestidad)
6.2/.9	Producto	Calidad general de la fabricación y el diseño en relación con el precio	6.4/.8	Logística	Precisión en el cumplimiento de los pedidos (se envía el producto correcto)
6.1/1.0	Precio	Competitividad del precio	6.4/.9	Precio	Competitividad del precio
6.1/1.0	Logística	Notificación anticipada de retrasos en los envíos	6.4/.9	Producto	Capacidad de procesamiento de la resina
6.1/.9	Promoción	Respuesta oportuna a solicitudes de asistencia por parte de los representantes del fabricante	6.3/1.0	Producto	Las resinas del proveedor son de color consistente
6.0/1.0	Logística	Respuesta sobre las quejas de servicio de los clientes	6.3/.8	Logística	Tiempos de espera consistentes (el proveedor de forma consistente cumple con la fecha de entrega)
5.9/1.1	Logística	Consistencia del ciclo de pedido (pequeña variabilidad)	6.3/.9	Producto	Las resinas del proveedor tienen flujo consistente de mezcla
5.9/1.0	Logística	Precisión del fabricante para pronosticar las fechas estimadas de envío	6.3/.9	Logística	Habilidad para agilizar pedidos de emergencia con rápida respuesta
5.9/.9	Producto	Estética y acabado general	6.2/.9	Logística	Información proporcionada cuando el pedido se levanta (fecha proyectada de envío)
5.9/1.0	Producto	Continuidad (no obsolescencia de los productos)	6.2/1.0	Logística	Aviso anticipado de retrasos en envíos
5.9/1.0	Logística	Disponibilidad del fabricante para aceptar devoluciones de productos dañados	6.1/1.0	Precio	Calidad adecuada de la resina en relación con el precio
5.8/1.2	Logística	Duración del tiempo de espera prometido para órdenes de rápido envío	6.1/1.1	Producto	Calidad general de la resina en relación con el precio
5.8/1.1	Logística	Integridad de los pedidos de contrato	6.1/1.1	Logística	Información proporcionada cuando se levanta el pedido (fecha proyectada de entrega)
5.8/1.1	Logística	Integridad de los pedidos de entrega rápida	6.1/1.0	Logística	Acciones sobre las quejas (por ejemplo, atención a pedidos, envíos, producto, etcétera)
5.8/1.1	Precio	Política de precios consistente y realista	6.1/1.0	Logística	Duración de los tiempos de espera prometidos (desde la presentación del pedido hasta la entrega de productos en inventario)
			6.1/1.0	Promoción	Calidad de la fuerza de ventas (seguimiento puntual)
			6.0/1.2	Logística	Información proporcionada cuando se levanta el pedido (disponibilidad de inventario)

[a] Calificado en una escala de 1 a 7.

Fuente: Douglas M. Lambert y Thomas C. Harrington, "Establishment Customer Service Strategies Within the Marketing Mix: More Empirical Evidence", *Journal of Business Logistics*, Vol. 10, Núm. 2 (1989), pág. 50.

Para la industria del plástico, nueve de las 18 variables clasificadas como las más importantes se relacionan con la logística. De las variables restantes, cinco se relacionan con la calidad del producto, dos con el precio y dos con la fuerza de ventas.[9]

La investigación de Sterling-Lambert sin duda sugiere que el servicio al cliente en cuanto a logística es un aspecto dominante en la mente del cliente en la industria de los sistemas y mobiliario de oficina y en la industria del plástico. Aunque una muestra tan pequeña de industrias pudiera no ser demasiado convincente, en otras industrias se ha observado el mismo fenómeno. En un estudio similar del mercado secundario del cristal para autos, Innis y LaLonde observaron que seis de los diez atributos principales de servicio al cliente eran de naturaleza logística.[10] En particular, altos *índices de satisfacción, frecuencia de entrega* e información sobre *disponibilidad de inventarios, fecha de envío* proyectada y *fecha de entrega* proyectada al momento de colocar el pedido recibieron las más altas clasificaciones entre la base de clientes al menudeo. Además, LaLonde y Zinszer encontraron que la *disponibilidad del producto* (integridad del pedido, precisión del pedido y niveles de inventario) y el *tiempo del ciclo de pedido* (tiempo de tránsito del pedido y tiempo para ensamblado y envío) se encontraban en forma dominante en la mente de los usuarios, siendo los más importantes para el 63% de los encuestados en su estudio.[11] Marr también investigó a varias empresas y obtuvo las siguientes conclusiones:

1. Sólo un encuestado mencionó el costo del servicio.
2. De los siete elementos superiores, sólo uno de ellos se encontró fuera del control del manejo de la distribución.
3. El elemento de servicio más importante fue la rapidez de entrega.[12]

Shycon Associates realizó una encuesta entre ejecutivos del área de compras y distribución a lo largo de una muestra representativa de la industria norteamericana, pidiéndoles que calificaran a sus proveedores.[13] En la figura 4-2 se muestra lo que los entrevistados sentían que eran las fallas más comunes en el servicio. La entrega retrasada, una variable del servicio logístico al cliente, fue causa de cerca de la mitad de las fallas mencionadas al servicio, en tanto que los errores en la calidad del producto representaron cerca de una tercera parte.

Jackson, Keith y Burdick demostraron la forma en la que los elementos de servicio asumen distintos grados de importancia, dependiendo del tipo de producto que se adquiera.[14] Entrevistaron a 254 agentes de compras en 25 compañías sobre la importancia de seis elementos de servicio de distribución física. Sus resultados se muestran en la tabla 4-2. De nuevo, obsérvese la importancia relativa del tiempo de espera y la consistencia del tiempo de entrega.

---

[9] Thomas C. Harrington y Douglas M. Lambert, "Establishment Customer Service Strategies Within the Marketing Mix: More Empirical Evidence", *Journal of Business Logistics,* Vol. 10, Núm. 2 (1989), págs. 44-60.
[10] Daniel E. Innis y Bernard J. LaLonde, "Customer Service: The Key to Customer Satisfaction, Customer Loyalty, and Market Share", *Journal of Business Logistics,* Vol. 15, Núm. 1 (1994), págs. 1-27.
[11] LaLonde y Zinszer, "Customer Service: Meaning and Measurement".
[12] Norman E. Marr, "Do Managers Really Know What Service Their Customers Require?, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management",* Vol. 24, Núm. 4 (1994), págs. 24-31.
[13] Steven G. Baritz y Lorin Zissman, "Researching Customer Service: The Right Way", *Proceedings of The National Council of Physical Distribution Management,* Vol. II (Nueva Orleans, LA: 25 de octubre de 1983), págs. 608-619.
[14] Donald W. Jackson, Janet E. Keith y Richard K. Burdick, "Examining the Relative Importance of Physical Distribution Service Elements", *Journal of Business Logistics,* Vol. 7, Núm. 2 (1986), págs. 14-32.

Figura 4-2
Quejas comunes del servicio al cliente.

Fuente: Steven G. Baritz y Lorin Zissman, "Researching Customer Service: the Right Way", *Proceedings of the National Council of Physical Distribution Management,* Vol. II (Nueva Orleans, LA: 25 de octubre de 1983), pág. 611.

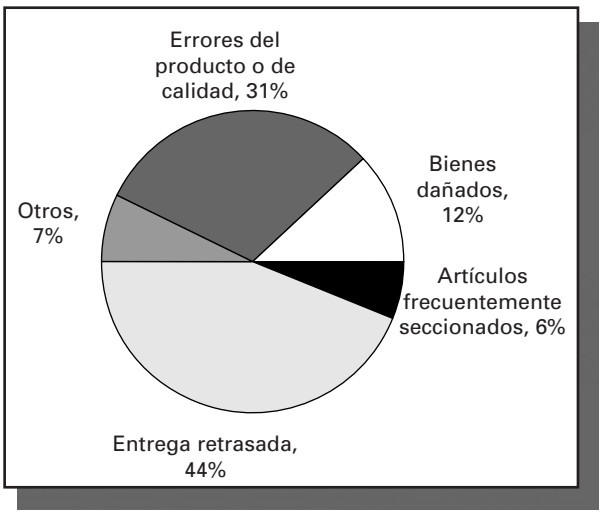


Tabla 4-2 Clasificación de seis elementos de servicio de distribución física según el tipo de producto (1 = el más importante)

	Tipo de producto				
	De capital mayor[a]	De capital menor[b]	Materiales[c]	Partes componentes[d]	Suministros[e]
Resultados del inventario	2	1	3	3	1
Tiempo de espera	3	3	2	2	3
Regularidad de las entregas	1	2	1	1	2
Información sobre el progreso del pedido	4	5	5	5	5
Empaque de protección	6	6	6	6	6
Cooperación para manejar problemas de envío	5	4	4	4	4

[a] Los artículos de capital mayor son los bienes que tienen una vida útil superior a un año, no forman parte del producto final de la empresa y cuestan más de $10,000 por unidad.
[b] Los artículos de capital menor son los bienes que tienen una vida útil superior a un año, no forman parte del producto final de la empresa y cuestan entre $1,000 y $10,000 por unidad.
[c] Los materiales son bienes que se convierten en parte del producto final, pero requieren procesamiento posterior antes de que lo hagan.
[d] Las partes componentes son bienes que forman parte del producto final sin procesamiento posterior.
[e] Los suministros son bienes que no forman parte del producto final, pero se utilizan para apoyar su creación.

Fuente: Adaptado de Donald W. Jackson, Janet E. Keith y Richard K. Burdick, "Examining the Relative Importante of Physical Distribution Service Elements", *Journal of Business Logistics,* Vol. 7, Núm. 2 (1986), pág. 23.

En resumen, los siguientes elementos de servicio logístico al cliente se consideran como los más importantes.

- Entrega a tiempo.
- Rapidez de atención a un pedido.
- Condición del producto.
- Documentación precisa.[15]

TIEMPO DEL CICLO DEL PEDIDO

Los principales elementos del servicio al cliente que pueden controlar los responsables de logística se capturan dentro del concepto de tiempo del ciclo del pedido (o del servicio). El *tiempo del ciclo del pedido* puede definirse como

> el tiempo transcurrido entre el momento en que se levanta un pedido de cliente, una orden de compra o una solicitud de servicio y el momento en que el producto o servicio es recibido por el cliente.

El ciclo del pedido contiene todos los eventos relacionados con el tiempo que da forma al tiempo total requerido para que un cliente reciba un pedido. En la figura 4-3 se presenta una ilustración de los componentes que forman un ciclo del pedido típico. Observe que los elementos individuales del tiempo de ciclo del pedido son el tiempo de transmisión, el tiempo de procesamiento del pedido, el tiempo del ensamblado del pedido, la disponibilidad del inventario, el tiempo de producción y el tiempo de entrega. Estos elementos se controlan directa o indirectamente mediante la elección y el diseño de métodos de transmisión de pedidos, políticas de inventario-almacenamiento, procedimientos de procesamiento de pedidos, modos de transporte y métodos de programación.

El tiempo de transmisión del pedido puede estar compuesto por varios elementos de tiempo, dependiendo del método utilizado para comunicar los pedidos. Un sistema de comunicación electrónico y por vendedor tendrá un tiempo de transmisión de pedido compuesto por el tiempo que el vendedor y la oficina de ventas retienen el pedido antes de transmitirlo, y por el tiempo que el pedido se encuentre en el canal de transmisión. Un pedido preparado por el cliente más una transmisión electrónica tendrá un tiempo de transmisión total equivalente a una llamada telefónica, fax, intercambio electrónico de datos o utilización de un sitio Web. En ocasiones podría ser importante incluir, en el tiempo del ciclo del pedido, el tiempo que le toma al cliente llenar un pedido o el tiempo entre las visitas de los vendedores.

Otro componente principal del tiempo del ciclo del pedido es lo que dura para el procesamiento del pedido y ensamblado. El procesamiento del pedido implica actividades como la preparación de los documentos de envío, la actualización de los registros de inventario, la coordinación de la autorización del crédito, la verificación del pedido para evitar errores, la comunicación con los clientes y partes interesadas dentro de la compañía respecto de la situación del pedido y la difusión de la información del pedido a los departamentos de compras, producción y contabilidad. El ensamblado del pedido incluye el tiempo requerido para hacer que el pedido se encuentre listo para su entrega una vez que se haya recibido y la información del mismo se haya puesto a disposición del almacén o del departamento de envíos. Implica recoger el pedido de las existencias, enviarlo al pun-

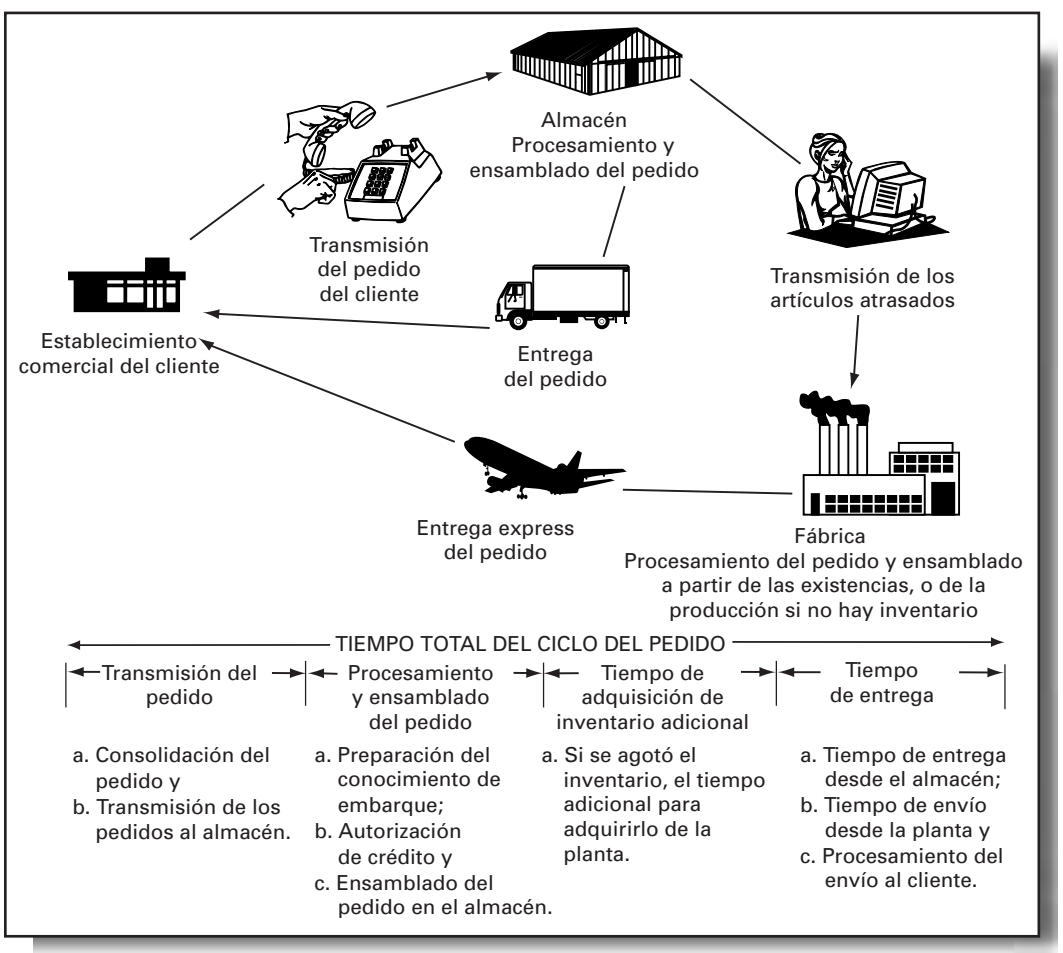
[15] James E. Keebler y Karl B. Manrodt, "The State of Logistics Performance Measurement", *Proceedings of the Council of Logistics Management* (Nueva Orleans, LA: Council of Logistics Management, 24-27 de septiembre de 2002), págs. 275-281; y Robert Miller, Logistics Tip of the Week, Tips@logfac.com (9 de enero de 2002).

to de salida en el almacén, efectuar cualquier empaque o fabricación ligera necesaria y su consolidación con otros pedidos que se desplacen en la misma dirección. Si no se dispone de inventarios, entonces el procesamiento puede incluir la fabricación.

Hasta cierto punto, el ensamblado y procesamiento del pedido se presentan en forma concurrente, por lo que el tiempo total consumido por ambas actividades no es la suma de los tiempos requeridos por cada una. Más bien, ambas actividades se traslapan, presentándose el procesamiento del pedido ligeramente antes que el ensamblado del mismo, debido a la verificación de errores y al manejo inicial del papeleo. La preparación de la documentación de envío y la actualización del inventario pueden llevarse a cabo mientras se presentan las operaciones de ensamblado.

La disponibilidad de existencias tiene notable efecto sobre el tiempo total del ciclo del pedido, ya que con frecuencia obliga a que los flujos de producto y de información salgan del canal establecido. En la figura 4-3 se muestra un canal normal que podría existir para suministro a los clientes mediante un almacén. Cuando las existencias no estuvie-

Figura 4-3 Componentes de un ciclo de pedido del cliente.



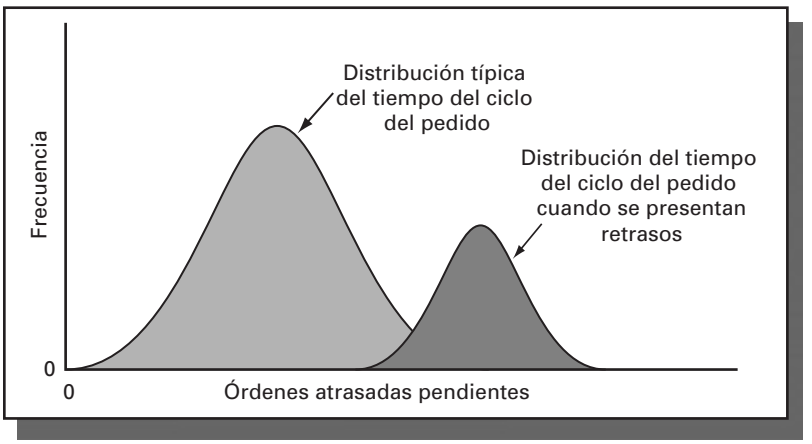


Figura 4-4
Distribución de frecuencia para el tiempo total del ciclo del pedido cuando se presenta una situación de falta de inventario

ran disponibles dentro de los inventarios del almacén, se podría utilizar un segundo canal de distribución, o de respaldo. Por ejemplo, un pedido atrasado que correspondiera a un artículo que estuviera fuera de inventario, sería transmitido a la planta para ser cubierto con las existencias de la planta. Si no se contara con existencias disponibles en la planta, se prepararía una orden de producción y se produciría inventario. Entonces la entrega se realizará en forma directa desde la planta hacia el cliente. Los otros posibles sistemas de respaldo se encontrarán enviando los bienes retrasados desde un almacén secundario o simplemente reteniendo pedidos en el punto de almacenamiento central. El esquema de respaldo mostrado en la figura 4-3 es para una compañía de especialidades químicas que vende productos fácilmente sustituibles.

El principal elemento final dentro de ciclo del pedido, sobre el cual tienen control directo los responsables de logística, es el tiempo de entrega (el tiempo necesario para desplazar el pedido desde el punto de almacenamiento a la ubicación del cliente). También puede incluir el tiempo para cargar en el punto de origen y el tiempo para descargar en el punto de destino.

Para todo cliente, el tiempo para recibir un pedido se expresa en términos de una distribución de frecuencia bimodal, como se muestra en la figura 4-4. La distribución de frecuencia es resultado de las distribuciones individuales para cada uno de los elementos del ciclo del pedido. La segunda curva en la distribución refleja el mayor tiempo de ciclo del pedido que puede generarse cuando se presenta un importante número de situaciones de falta de inventario. El tiempo del ciclo del pedido puede expresarse en forma cuantitativa en términos comunes estadísticos, como la media, la desviación estándar y la forma de distribución de frecuencias.

Ejemplo

Una empresa elabora un producto en Estados Unidos y lo envía a un punto de almacenamiento en São Pablo, Brasil, para proveer a los clientes locales. El cumplimiento del pedido requiere el procesamiento del mismo, la manufactura del producto o el surtido a partir de las existencias del almacén, la consolidación del envío, el transporte terrestre, el transporte marítimo y la liberación de aduanas. El rastreo del ciclo total del pedido desde la colocación del pedido de reabastecimiento de inventario hasta la entrega en Brasil

muestra los siguientes elementos del tiempo de ciclo y sus tiempos estimados. La construcción del ciclo del pedido en esta forma muestra que el ingreso del pedido y el abastecimiento del mismo en las plantas y almacenes consumen la mayor parte (50%) del tiempo del ciclo del pedido, y deberían ser el objetivo para una importante reducción del tiempo del ciclo del pedido.

	Tiempo, en días		
Distribución de los elementos de tiempo	Mín.	Máx.	Prom.
Ingreso del pedido y procesamiento de producción/almacenamiento	1	86[a]	36
Transporte al punto de consolidación	1	5	2
Consolidación de carga	2	14	7
Recepción de carga	0	1	1
Transporte al puerto	1	2	1
Espera del navío	1	4	2
Tránsito marítimo	17	20	18
Desconsolidación	3	4	4
Liberación de aduanas	1	4	2
Transportación terrestre al punto de inventario	0	2	1
Totales	27	142	74

[a] 90º percentila

Ajustes al tiempo del ciclo del pedido

Hasta este punto del análisis, se ha asumido que los elementos del ciclo del pedido operan sin restricción. Sin embargo, en ocasiones las políticas de servicio al cliente distorsionarán los patrones normales del tiempo del ciclo del pedido. Muchas de estas políticas se relacionan con las prioridades del procesamiento de pedidos, la condición del pedido y otras restricciones del tamaño del pedido.

Prioridades del procesamiento de pedidos

El tiempo del ciclo del pedido para un cliente individual puede variar fuertemente con respecto del estándar de la compañía, dependiendo de las reglas de prioridad o de la falta de ellas y que se hayan establecido para el procesamiento de los pedidos de entrada. Puede ser necesario diferenciar de un cliente con respecto de otro cuando se presenta una situación de pedidos pendientes.

Ejemplo

Al procesar pedidos de sus clientes industriales, un fabricante mediano de papel observó que cuando se presenta una situación de pedidos pendientes y se aplica presión para reducirlos, el personal de procesamiento de pedidos solía procesar primero los pedidos más pequeños y menos complicados. Esto relegaba los pedidos de los clientes más grandes y de mayor valor a tiempo mayor que en el que normalmente habrían sido atendidos. La compañía se encontraba incrementando su tiempo del ciclo del pedido para sus clientes más grandes durante los periodos de pedidos pendientes debido a que sus reglas arbitrarias de prioridad para procesar pedidos se aplicaban de manera inconsciente.

Estándares de la condición del pedido

Un tiempo normal de ciclo del pedido podría alterarse sustancialmente si los productos ordenados llegan al lugar del cliente en estado dañado o inservible. La mayor parte de las empresas no desean absorber el alto costo, ni los clientes el alto precio, de eliminar la posibilidad de un pedido dañado o equivocado. Los estándares establecidos para el diseño del empaque, los procedimientos para la devolución y el reemplazo de bienes dañados o incorrectos, y los estándares establecidos para vigilar la calidad del pedido establecerán cuánto tiempo se incrementará el tiempo del ciclo del pedido por encima del promedio.

Restricciones del pedido

Bajo algunas circunstancias, el responsable de logística deseará un tamaño de pedido mínimo para hacer que los pedidos se levanten de acuerdo con un programa preestablecido o para hacer que las formas de pedido preparadas por el cliente se adapten a las especificaciones predefinidas. Estas restricciones permiten que se obtengan importantes economías en la distribución del producto. Por ejemplo, un tamaño de pedido mínimo y una programación precisa de los desplazamientos del producto con frecuencia dan por resultado menores costos de transportación y mayor rapidez de entrega. Para algunos clientes, el tiempo del ciclo de pedido efectivo puede extenderse debido a una práctica de esta naturaleza. Por otro lado, esta práctica puede permitir que el servicio se proporcione a ciertos mercados de bajo volumen que de otra forma no podrían ser atendidos de manera frecuente o confiable.

IMPORTANCIA DEL SERVICIO AL CLIENTE EN LA LOGÍSTICA Y EN LA CADENA DE SUMINISTROS

Los ejecutivos de logística pueden verse tentados a relegar el servicio al cliente como una responsabilidad del departamento de marketing o de ventas. Sin embargo, hemos observado que los compradores reconocen como importante el servicio al cliente en cuanto a logística, y con frecuencia lo clasifican por encima del precio del producto, la calidad del producto y de otros elementos relacionados con marketing, finanzas y producción. El punto clave es si éste representa alguna diferencia para la empresa vendedora en alguna forma que pueda afectar su rentabilidad. La manera en que el servicio afecta las ventas y la lealtad de los clientes son temas que se deben analizar.

Efectos del servicio sobre las ventas

Los responsables de la logística durante mucho tiempo han creído que las ventas son afectadas en cierto grado por el nivel proporcionado del servicio logístico al cliente. El hecho es que el servicio al cliente en cuanto a logística representa un elemento dentro del servicio total al cliente, las ventas no pueden compararse en forma precisa contra las de los niveles de servicio logístico al cliente y los cliente no siempre expresan de manera precisa sus deseos de servicio ni responden consistentemente al ofrecimiento de servicio. Esto con frecuencia da lugar a que los responsables de logística preestablezcan los niveles de servicio al cliente y luego diseñen el canal de suministro alrededor de ellos. Naturalmente, este método no es ideal, pero resulta práctico.

En la actualidad hay mayores evidencias definitivas de que el servicio logístico al cliente sí afecta a las ventas. En su cuidadoso estudio del servicio al cliente, Sterling y

Lambert concluyeron que los servicios de marketing sí afectan la participación de mercado y que los componentes de la mezcla de marketing de producto, precio, promoción y distribución física no contribuyen de manera equitativa a la participación de mercado.[16] Recuérdese que Sterling y Lambert también concluyeron que los elementos más importantes del servicio al cliente eran de naturaleza logística. Krenn y Shycon concluyeron, a partir de sus profundas entrevistas a 300 clientes de GTE/Silvana, que

> . . . la distribución, cuando proporciona los adecuados niveles de servicio para cumplir las necesidades del cliente, puede llevar directamente a un incremento en las ventas, mayor participación de mercado y por último a mayor contribución y crecimiento de las utilidades.[17]

Observaciones[18]

- La International Minerals & Chemicals Corporation, después de instituir un extenso programa de servicio al cliente, informó un 20% de incremento en las ventas y un 21% de incremento en las ganancias.
- Un fabricante reubicó su área de planta y la agregó a sus instalaciones de almacén para obtener un incremento en los costos logísticos de $200,000, una reducción de los costos de producción de $1'400,000 y un incremento en la utilidad neta de $500,000 a partir de un incremento en las ventas anuales de $45 a $50 millones.
- Para una gran cadena de menudeo con ventas superiores a $1,000 millones, se estimó que la consolidación de los puntos de almacenamiento en cinco centros de distribución produjo un ahorro de $9 millones en el costo de los bienes vendidos (incluyendo costos de transporte de entrada), un ahorro de $4 millones en costos de logística y un incremento adicional de $10 millones en la utilidad neta como resultado de un incremento de $100 millones en las ventas al menudeo.

Baritz y Zissman demostraron que los clientes (ejecutivos del área de compras y de distribución) pueden percibir diferencias de servicio entre su "mejor" proveedor y su proveedor "promedio".[19] Concluyeron que cuando se presenta una falla del servicio, los compradores con frecuencia imponían una acción de penalización al proveedor responsable. Estas acciones afectarán el costo o los ingresos del proveedor. En la figura 4-5 se ilustran los tipos de acciones específicas que se toman contra los proveedores. Los investigadores concluyeron con la firme aseveración siguiente respecto de los efectos del servicio sobre las ventas:

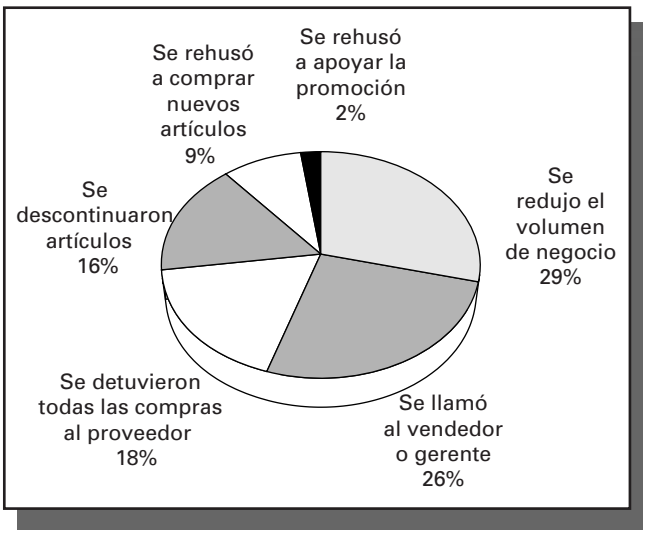
> Se ha cuantificado que las diferencias en el desempeño del servicio al cliente producen de un 5 a 6% de las variaciones en las ventas de un proveedor.[20]

---

[16] Sterling y Lambert, "Customer Service Research: Past, Present, and Future", págs. 14-17.
[17] John M. Krenn y Harvey N. Shycon, "Modeling Sales Response to Customer Service for More Effective Distribution", *Proceedings of the National Council of Physical Distribution Management,* Vol. I (Nueva Orleans, LA: 2-5 de octubre de 1983), pág. 593.
[18] Parafraseado en James L. Heskett, "Controlling Customer Logistics Service", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management,* Vol. 24, Núm. 4 (1994), págs. 4-10.
[19] Baritz y Zissman, "Researching Customer Service: The Right Way", págs. 610-612.
[20] Íbid., pág. 612.

Figura 4-5
Penalizaciones por las fallas en el servicio al cliente impuestas por los agentes de compras contra los proveedores.

Fuente: Steven G. Baritz y Lorin Zissman, "Researching Customer Service: The Right Way", *Proceedings of The National Council of Physical Distribution Management*, Vol. II (Nueva Orleans, LA: October 25, 1983), pág. 611.



De igual manera, Blanding hizo la siguiente aseveración:

> En los mercados industriales, una disminución de 5% en los niveles de servicio dará por resultado 24% de caída en las compras sobre la base de los clientes actuales.[21]

Por último, en un estudio de Singhal y Hendricks de 861 compañías que cotizan en la bolsa se encontró que las fallas en la cadena de suministros tienen efecto adverso sobre el precio de las acciones.[22] Cuando una compañía anuncia una anomalía de la cadena de suministros, como retraso en la producción o en el envío, su precio de la acción puede caer inmediatamente 9%, y hasta 20% en un periodo de seis meses. Los seis motivos más comunes de fallas imprevistas en la cadena de suministros fueron: escasez de partes, cambios solicitados por los clientes, lanzamiento de nuevos productos, problemas de producción, problemas de desarrollo y problemas de calidad.

Efectos del servicio sobre la preferencia del cliente

Otra forma de ver la importancia del servicio al cliente es mediante los costos relacionados con la preferencia del cliente. El servicio al cliente en cuanto a la logística juega un papel crítico para mantener la preferencia del cliente y debe establecerse con cuidado y proporcionarse de manera consistente si se desea que los clientes permanezcan leales a sus proveedores. Cuando se nota que 65% de los negocios de una empresa provienen de sus clientes actuales,[23] se comprenderá por qué es tan importante mantener la base de clientes actuales. Según observó Bender,

> En promedio, resulta aproximadamente seis veces más caro desarrollar un cliente nuevo que mantener a uno actual. Por ello, desde un punto de vista fi-

[21] Warren Blanding, "Customer Service Logistics", *Proceedings of the Council of Logistics Management*, Vol. I (Ahaheim, CA: 5-8 de octubre de 1986), pág. 367.
[22] "El estudio vincula las fallas imprevistas de la cadena de suministro con la caída de los precios de las acciones", *OR/MS Today*, Vol. 28, Núm. 1 (febrero de 2001), pág. 21 en adelante.
[23] Íbid., pág. 366.

nanciero, los recursos invertidos en las actividades de servicio al cliente proporcionan mayor rendimiento que los recursos invertidos en promoción y en otras actividades de desarrollo.[24]

El presidente del consejo y director ejecutivo de AT&T debe estar de acuerdo con esto, ya que al responder a una guerra de precios de comunicación, comentó:

> Debemos enfocarnos en recompensar y crear lealtad entre los clientes actuales en vez de gastar una fuerte cantidad en readquirir desertores.[25]

Definición de una relación ventas-servicio

Ahora queda clara la importancia del servicio logístico al cliente. Sin embargo, la toma de decisiones logísticas mejoraría si conociéramos de manera más precisa cómo cambian las ventas ante los cambios en los niveles de servicio logístico al cliente. Quisiéramos expresar este efecto en forma matemática como una relación de ventas-servicio. Considérese la naturaleza general de tal relación.

A partir de los hallazgos y teorías disponibles es posible construir la forma como debe verse la relación de ventas-servicio logístico, al menos de manera generalizada. Esta relación, que se muestra en la figura 4-6, indica cómo es probable que las ventas cambien cuando el servicio mejora por encima del ofrecido por los proveedores que compiten. Ob-

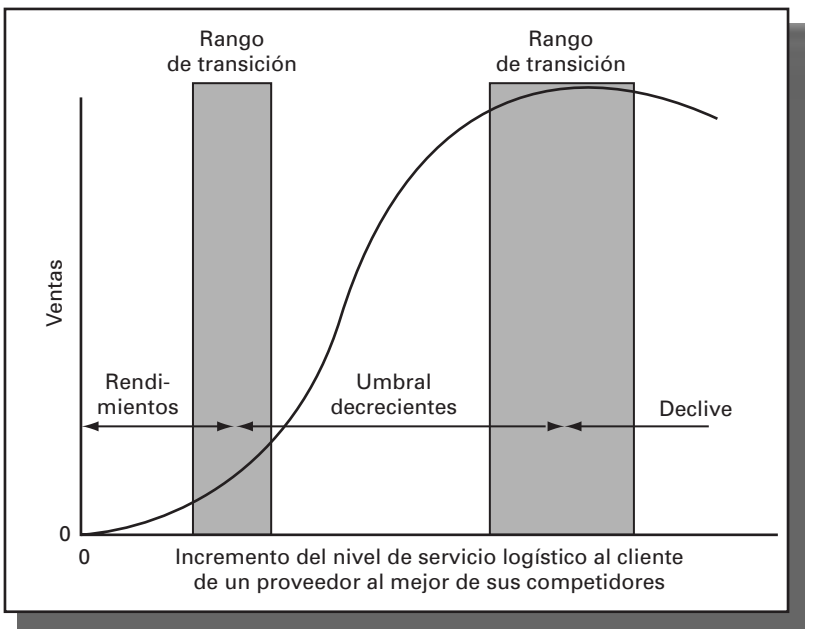


Figura 4-6
Relación general de las ventas con el servicio al cliente.

[24] Paul S. Bender, *Design and Operation of Customer Service Systems* (Nueva York: AMACOM, 1976), pág. 5.
[25] "The 'New' AT&T Faces Daunting Challenges", *Wall Street Journal,* 19 de septiembre de 1996, B1.

sérvense las tres distintas etapas de la curva: umbral, rendimientos decrecientes y declive. Cada etapa muestra que incrementos iguales de mejoras en el servicio no siempre conllevan a ganancias equivalentes en las ventas.

Cuando no existe un servicio al cliente entre un comprador y un vendedor, o cuando el servicio es extremadamente deficiente, no se generan ventas o se generan muy pocas. Obviamente, si un proveedor ofrece un servicio no logístico al cliente y el comprador no se lo proporciona, no habrá forma de vencer la diferencia de tiempo y de espacio entre los dos. No habrá intercambio y por tanto no existirán ventas.

A medida que el servicio comienza a incrementarse para aproximarse al ofrecido por la competencia, se pueden esperar bajas ventas. Suponiendo que el precio y la calidad son iguales, en efecto la empresa no se encontrará dentro del negocio sino hasta que el nivel de servicio se aproxime al de la competencia. Este punto es el nivel de servicio de umbral.

Cuando el nivel de servicio de una empresa alcanza este umbral, la mejora posterior del servicio respecto de la competencia puede mostrar una buena estimulación de ventas. Las ventas se capturan de los proveedores que compiten al crear un diferencial de servicio. A medida que el servicio mejora más, las ventas siguen incrementándose, pero a menor ritmo. La región desde el nivel de servicio en el umbral hasta el punto de declive de las ventas se denomina rendimientos decrecientes. En esta región la mayoría de las empresas administran sus cadenas de suministros.

¿Por qué las ventas se incrementan con las mejoras en el servicio? Se ha observado que los compradores son sensibles al servicio que reciben de los proveedores.[26] Un mejor servicio por lo general implica menores costos de inventario para el comprador, suponiendo que la calidad del producto y el precio de adquisición permanecen sin afectarse como consecuencia del mejor servicio ofrecido. Los compradores entonces estarán motivados a desplazar su preferencia al proveedor que ofrezca el mejor servicio.

En estudios empíricos, en la curva se ha observado decaimiento o rendimientos decrecientes.[27] Esto se debe a la incapacidad del comprador de beneficiarse en el mismo grado tanto de mayores como de menores niveles de servicio, así como de políticas de compras que requieren más de una fuente de suministro. El impacto que tiene el servicio sobre los costos del comprador tiende a disminuir ante un mejor servicio. Así pues, es probable que la preferencia del cliente siga el mismo patrón. También, la política común de compras de mantener múltiples fuentes de suministro pone límites al grado de preferencia de ventas que cualquier comprador puede ofrecer a un proveedor. Cuando la política consiste en dispersar las compras a través de muchos compradores, el efecto es producir el decaimiento observado en la figura 4-6.

Por último, es posible que las mejoras del servicio puedan llevarse demasiado lejos, con un declive resultante en las ventas, en tanto que las mejoras en la disponibilidad del inventario, el tiempo del ciclo del pedido y la condición de los bienes entregados no tienen efecto negativo sobre las ventas, factores de servicio al cliente, como la frecuencia de

[26] Baritz y Zissman, "Researeching Customer Service: The Right Way", págs. 610-612; y Ronald P. Willet y P. Ronald Stephenson, "Determinants of Buyer Response to Physical Distribution Service", *Journal of Marketing Research* (agosto de 1969), págs. 279-283.

[27] Ronald H. Ballou, "Planning a Sales Strategy with Distribution Service", *Logistics and Transportation Review,* Vol. 9, Núm. 4 (1974), págs. 323-333; Willett and Stephenson, "Determinants of Buyer Response to Physical Distribution Service", *International Journal of Physical Distribution & Materials Management,* Vol. 3 (verano de 1973), págs. 322-330; y Krenn y Shycon, "Modeling Sales Response to Customer Service for More Effective Distribution", págs. 581-601.

las visitas de los vendedores para analizar los niveles de inventario de los compradores y levantar pedidos, y la naturaleza y frecuencia de la información para determinar el progreso del pedido pueden resultar excesivas para algunos compradores. Estos últimos podrían ver esto como una molestia y retirar la preferencia de ventas de un proveedor. Sin embargo, tales efectos podrían presentarse sólo en los niveles extremos del servicio, cuando los clientes se vean saturados con demasiado de algo aparentemente positivo.

Modelado de la relación ventas-servicio

La relación ventas-servicio para un producto dado puede desviarse de la relación teórica mostrada en la figura 4-6. Se pueden utilizar varios métodos para modelar la relación real en casos específicos. Cuatro de ellos son: el método de dos puntos, los experimentos antes-después, el método de juego y las encuestas al comprador.

Método de dos puntos

El método de dos puntos implica establecer dos puntos sobre la parte de los rendimientos decrecientes de la relación ventas-servicio, a través de los cuales se puede dibujar una línea recta. Luego esta línea se utiliza como una aproximación aceptable a la relación curvilínea, como se muestra en la figura 4-7. El método se basa en la noción de que múltiples puntos de información para definir en forma precisa la curva ventas-servicio sería costoso y no realista de obtener, y si la información estuviera disponible, por lo general no sería posible describir la relación con un alto grado de precisión.

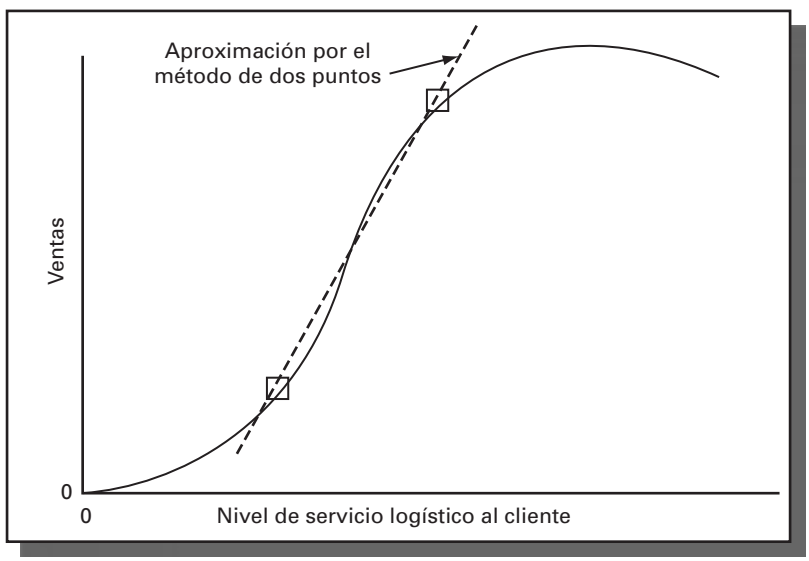


Figura 4-7
Aproximación de una relación ventas-servicio mediante el método de dos puntos.

El método implica primero establecer el servicio logístico al cliente en un nivel alto para un producto particular y observar las ventas que puedan lograrse. Luego se reduce a un nivel bajo y de nuevo se observan las ventas. Aunque la técnica parece simple, algunos problemas metodológicos pueden limitar su utilidad. En primer lugar, podría no ser práctico modificar sustancialmente los niveles de servicio de los productos que actualmente se venden con objeto de recabar la información de la respuesta de las ventas. En segundo lugar, el tiempo que el cambio del servicio esté en efecto, en la medida en que los clientes estén informados del cambio y en que otras actividades que se encuentren operando afecten las ventas (promociones, cambios de precio y cambios de calidad del producto), puede introducir tanta variabilidad en los resultados de las ventas que las podrían volver sin sentido. Estas limitaciones sugieren que debe hacerse una cuidadosa selección de la situación a la que se aplicará si se espera obtener resultados razonables.

Experimentos antes-después

El conocimiento de la respuesta de las ventas a un cambio particular en el servicio puede ser todo lo necesario para evaluar los efectos sobre los costos. La generación de la curva ventas-servicio sobre un amplio rango de opciones de servicio puede ser innecesaria e impráctica. Por lo tanto, la respuesta de las ventas puede determinarse simplemente induciendo un cambio en el nivel de servicio y vigilando el cambio en las ventas, o mediante la observación del mismo efecto a partir de registros históricos cuando haya ocurrido un cambio en el servicio en el pasado. El cambio en el servicio necesita ser lo suficientemente grande para que las verdaderas diferencias en las ventas no se encuentren encubiertas por fluctuaciones normales de las ventas o por errores de medición.

Los experimentos antes-después de este tipo se encuentran sujetos a los mismos problemas metodológicos que para el método de dos puntos. Sin embargo, estos experimentos pueden ser más fáciles de llevar a cabo debido a que el nivel actual de servicio funciona como el punto de información "antes". Y solo se requiere el punto de información "después".

Método de juego

Uno de los problemas más serios al medir la respuesta de las ventas ante cambios en el servicio es el control del ambiente del negocio, de modo que sólo se determine el efecto del nivel de servicio logístico al cliente. Un método consiste en preparar una simulación de laboratorio, o situación de juego, donde los participantes toman sus decisiones dentro de un ambiente controlado. Este ambiente intenta replicar los elementos de incertidumbre de demanda, competencia, estrategia de logística, y otros que puedan ser relevantes para la situación particular. El juego implica decisiones acerca de los niveles de actividad logística (y por ello, niveles de servicio) con objeto de generar ventas consistentes con los costos de producirlas. Al vigilar el juego en el tiempo, se puede obtener amplia información para generar la curva ventas-servicio. Se pueden crear juegos especializados para este propósito, o considerar juegos de logística generalizados que se encuentran disponibles para propósitos educativos.[28]

[28] Ejemplos de estos juegos de logística generalizados se pueden encontrar en J. L. Heskett, Robert M. Ivie y Nicholas A. Glaskowsky Jr., *Business Logistics: Instructor's Supplement* (Nueva York: Ronald Press, 1964), págs. 100-108; y "Simchip-A Logistical Game", en Donald J. Bowersox, *Logistical Management*, 2a. ed. (Nueva York: Macmillan, 1978), págs. 465-478.

Lo artificial del ambiente de juego siempre llevará a preguntas sobre la relevancia de los resultados para una empresa o situación de producto particular. En la medida en que se establezca el valor predictivo del proceso de juego mediante procedimientos de validación, la técnica ofrece la ventaja de manipular los elementos de problema y el ambiente sin entrometerse en algún proceso existente. Además, el proceso de juego puede continuarse tanto como se requiera para adquirir la información deseada, y ser replicado para posterior validación.

Encuestas al comprador

El método más popular para reunir información del servicio al cliente es la encuesta al comprador o a otras personas que influyen en la compra. Con frecuencia se utilizan cuestionarios por correo y entrevistas personales porque se puede obtener una amplia muestra de información a un costo relativamente bajo. Algunas preguntas en la encuesta pueden estar diseñadas para determinar la forma en que los compradores cambian su preferencia o niveles de compra entre los proveedores, si el servicio ofrecido al cliente fuera modificado en cierto grado. Las respuestas compuestas de múltiples compradores que reaccionan a diferentes niveles propuestos de servicio logístico al cliente proporcionarán la información básica para generar la curva de ventas-servicio.[29]

Los métodos de encuestas también deben utilizarse con cuidado porque puede ocurrir sesgo. Un sesgo principal es el hecho de que a los compradores se les pide que indiquen cómo *responderían* a cambios en el servicio y no cómo *responden* a ellos. Además, las preguntas deben estar cuidadosamente diseñadas para no orientar a los encuestados o para no sesgar sus respuestas, e incluso para capturar la esencia del servicio que los compradores consideran importante.

COSTO *VERSUS* SERVICIO

Anteriormente se observó que el servicio logístico al cliente es resultado del establecimiento de niveles de actividad logística. Esto implica que cada nivel de servicio tendrá un nivel de costos relacionado. De hecho, habrá muchas alternativas logísticas de costo de sistema para cada nivel de servicio, dependiendo de la mezcla de actividad logística particular. Una vez que se conozca en general la relación ventas-servicio, se hará corresponder los costos con el servicio, como se muestra en la figura 4-8.

A medida que los niveles de actividad se incrementan para cumplir con los mayores niveles de servicio al cliente, los costos se incrementan a un ritmo creciente. Este es un fenómeno general que se observa en la mayoría de las actividades económicas a medida que éstas son forzadas por encima de su punto de máxima eficiencia. Los rendimientos decrecientes en la relación ventas-servicio y la creciente curva de costo-servicio dan por resultado una curva de utilidades en la forma que se muestra en la figura 4-8. La curva de contribución de utilidades se obtiene de la diferencia entre el ingreso y los costos en distintos niveles de servicio. Dado que existe un punto sobre la curva de contribución de uti-

[29] Se pueden encontrar ejemplos del uso de esta técnica en Ballou, "Planning a Sales Strategy with Distribution Service"; Perreault and Russ, "Physical Distribution Service in Industrial Parchase Decisions", *Journal of Marketing*, Vol. 10, Núm. 3 (1976), págs. 3-10; Willet y Stephenson, "Determinants of Buyer Response to Physical Distribution Service"; y Krenn y Shycon, "Modeling Sales Response to Customer Service for More Effective Distribution".

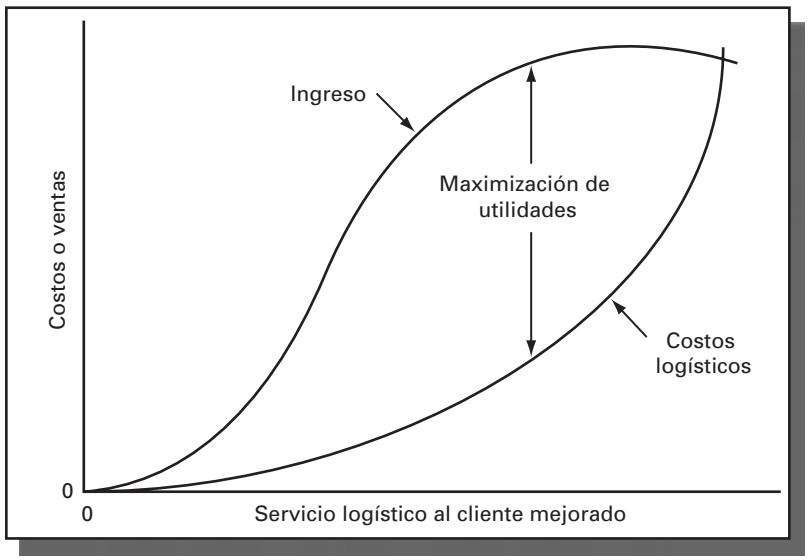


Figura 4-8
Interrelación general de costo-ingresos a diferentes niveles del servicio logístico al cliente

lidad donde ésta se maximiza, ese nivel de servicio ideal es el que se perseguirá en la planeación del sistema logístico. Este punto de utilidad máxima por lo general se presenta entre los extremos de niveles de servicio bajo y alto.

Determinación de los niveles óptimos de servicio

Una vez que se conozca el ingreso y los costos logísticos para cada nivel de servicio, entonces se podrá determinar el nivel de servicio que maximizará la contribución de utilidad de la empresa. El punto de utilidad óptimo se obtiene en forma matemática. Primero consideraremos la teoría para hacer esto y luego veremos un ejemplo de cómo la teoría se aplica en la práctica.

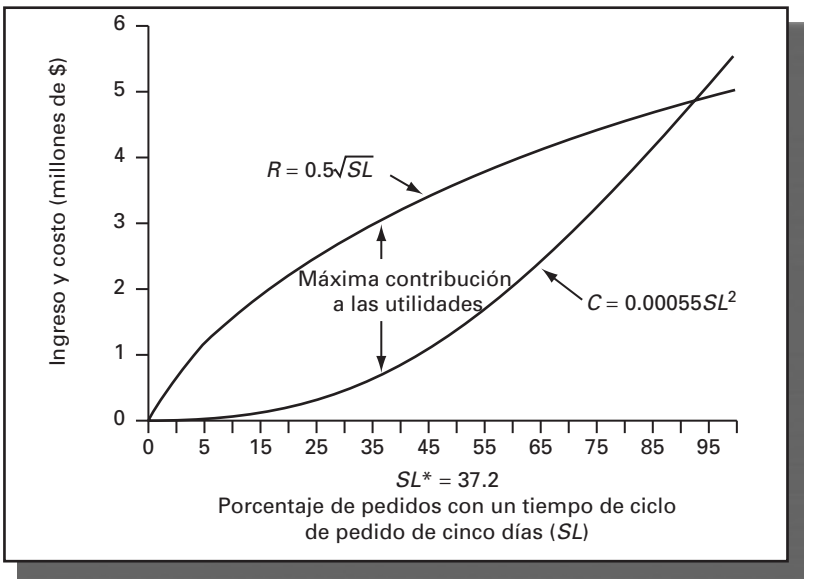
Teoría

Suponga que el objetivo es maximizar la contribución a las utilidades, es decir, la diferencia entre los ingresos relacionados con la logística y los costos de logística. En forma matemática, las utilidades máximas se obtienen en el punto donde el cambio en el ingreso es igual al cambio en el costo, es decir, el ingreso marginal es igual al costo marginal. Para propósitos de ilustración, imagine que la curva de ventas-servicio (ingreso) está dada por $R = 0.5\sqrt{SL}$, donde SL (Nivel de Servicio por sus siglas en inglés) es el nivel de servicio representado como el porcentaje de pedidos que tienen un tiempo de ciclo de pedido de cinco días. La naturaleza de esta curva se muestra en la figura 4-9. La curva de costos correspondiente está dada por $C = 0.00055SL^2$. La expresión que será optimizada es el ingreso menos los costos, o

$$P = 0.5\sqrt{SL} - 0.00055SL^2 \qquad \textbf{(4-1)}$$

donde P = contribución a las utilidades en dólares.

Figura 4-9
Maximización de la contribución a las utilidades para curvas de ingreso y de costos hipotéticas.



Utilizando cálculo diferencial, la ecuación (4-1) puede optimizarse. La expresión resultante para el nivel de servicio (SL) para optimizar la contribución a las utilidades es[30]

$$SL^* = \left[\frac{0.5}{4(0.00055)}\right]^{2/3} \qquad \textbf{(4-2)}$$

Por lo tanto, $SL^* = 37.2$. Es decir, aproximadamente 37% de los pedidos deberán tener un tiempo de ciclo de pedido de cinco días, como se muestra en la figura 4-9.

Prácticas

Considere la forma como la teoría anterior se aplica a los niveles de servicio de inventario de almacén para un fabricante de productos alimenticios. Se seleccionó un artículo, pero la metodología se aplica de igual forma para cada uno de los artículos en el almacén.

[30] La expresión de SL^* se determina como sigue:

$$P = 0.5\sqrt{SL} - 0.00055SL^2$$

Para optimizar P respecto de SL, se toma la primera derivada de P respecto de SL y luego se hace el resultado igual a cero. Es decir,

$$dP/dSL = (1/2)(0.5)SL^{-1/2} - (2)(0.0055)SL = 0$$

Resolviendo para SL^*

$$SL^* = \left[\frac{0.5}{4(0.00055)}\right]^{2/3}$$

Ejemplo

Borden Foods tiene un producto de jugo de limón en uno de sus almacenes. La compañía mantiene tanto inventario de este producto que no se agotaría en cuatro años. El nivel de servicio para el producto se estableció en exceso de 99%. Aunque éste era uno de los productos de más alto volumen en la compañía, la pregunta era si el nivel de inventario necesitaba establecerse tan alto.

El sentir general en la compañía era que ocurriría 0.1% de cambio en las ventas para cada 1% de cambio en el nivel de servicio. El almacén reabastece a las tiendas de menudeo sobre una base semanal, de manera que el nivel de servicio al cliente podría definirse como la probabilidad de estar con existencias durante el tiempo de espera de reabastecimiento del almacén. El margen de negociación (beneficio) era de $0.55 por caja con ventas anuales directas del almacén de 59,904 cajas. El costo estándar por caja era de $5.38 y el costo anual de manejo de inventario se estimó en 25%. El tiempo de espera de reabastecimiento era de una semana, con ventas promedio semanales de 1,152 cajas y una desviación estándar de 350 cajas.

Se encontró el servicio óptimo en el punto donde la utilidad neta en el almacén se maximiza, o lo que es igual, $NP = P - C$. P es la utilidad bruta en el lugar del almacén dentro del canal de suministro y C es el costo del inventario de seguridad en el almacén. El punto óptimo se presenta donde el cambio (Δ) en la utilidad bruta sea igual al cambio en los costos del inventario de seguridad; $\Delta P = \Delta C$. Debido a que la respuesta de las ventas es constante para todos los niveles de servicio, se tiene que el cambio en la utilidad bruta sale de

$$\begin{aligned}\Delta P &= \text{Margen de negocio (\$/caja)} \times \text{Respuesta de ventas (cambio fraccional en las ventas/1\% de cambio en el servicio)} \times \text{Ventas anuales (cajas/año)} \\ &= 0.55 \times 0.001 \times 59{,}904 \\ &= \$32.95 \text{ por año por 1\% de cambio en el nivel de servicio}\end{aligned} \quad \textbf{(4-3)}$$

El cambio en el costo es resultado de la cantidad de inventario de seguridad que necesita mantenerse a cada nivel de servicio. El inventario de seguridad es el inventario extra que se mantiene como cobertura contra la variabilidad de la demanda y el tiempo de espera de reabastecimiento.[31] Este cambio en el inventario de seguridad está dado por

$$\Delta C = \text{Costo de manejo anual (\%/año)} \times \text{Costo estándar del producto (\$/caja)} \times \text{Desviación estándar de la demanda durante el periodo de reabastecimiento (cajas)} \times \Delta z \quad \textbf{(4-4)}$$

donde z es un factor (llamado la desviación normal) que sale de la curva de distribución normal y que está asociado con la probabilidad de encontrarse en inventario durante el periodo de espera (la lógica para esta ecuación se analiza en el capítulo de administración de inventarios). El cambio en el costo anual es

$$\begin{aligned}\Delta C &= 0.25 \times 5.38 \times 350 \times \Delta z \\ &= \$470.75 \times \Delta z \text{ por año}\end{aligned}$$

para cada Δz. El cambio en el costo del inventario de seguridad para distintos valores de Δz está dado en la siguiente tabla:

[31] Ver capítulo 9, "*Decisiones sobre políticas de inventarios*", para mayor información sobre el inventario de seguridad.

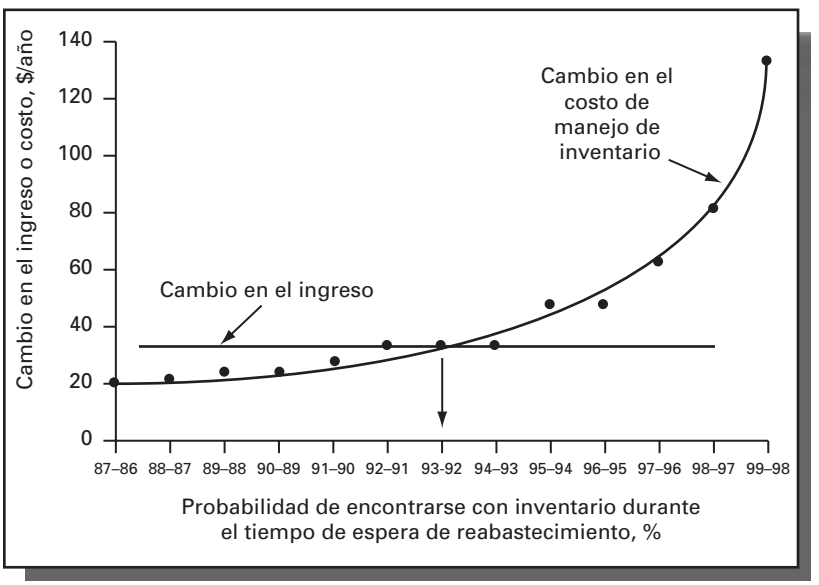
Cambio en el nivel de servicio (SL), %	Cambio en z (Δz)[a]	Cambio en el costo del inventario de seguridad (ΔC), $/año
87–86	1.125 – 1.08 = 0.045	$ 21.18
88–87	1.17 – 1.125 = 0.045	21.18
89–88	1.23 – 1.17 = 0.05	23.54
90–89	1.28 – 1.23 = 0.05	23.54
91–90	1.34 – 1.28 = 0.06	28.25
92–91	1.41 – 1.34 = 0.07	32.95
93–92	1.48 – 1.41 = 0.07	32.95 ←
94–93	1.55 – 1.48 = 0.07	32.95
95–94	1.65 – 1.55 = 0.10	47.08
96–95	1.75 – 1.65 = 0.10	47.08
97–96	1.88 – 1.75 = 0.13	61.20
98–97	2.05 – 1.88 = 0.17	80.03
99–98	2.33 – 2.05 = 0.28	131.81

[a] Estos valores de z pueden encontrarse en el apéndice A.

El trazo de los valores de ΔP y ΔC sobre una gráfica (ver figura 4-10) muestra que el nivel de servicio óptimo *(SL*)* es de 92 a 93%. Este es el punto donde se intersectan las curvas ΔP y C.

Nota: No es necesario explicar los cambios en todos los costos e ingresos de producto, sólo los efectos de utilidades y de costos de inventario relevantes.

Figura 4-10
Establecimiento del nivel de servicio (*SL**) para un artículo en una línea de procesamiento de alimentos.



Borden realizó un análisis similar para una amplia muestra de miles de artículos inventariados en sus múltiples almacenes. Se proyectaron ahorros en costos de inventario por millones de dólares, debido al almacenamiento a mayores niveles de lo que podía justificarse, por las utilidades añadidas que se obtendrían por inventariarse por encima de niveles de servicio óptimo.

VARIABILIDAD DEL SERVICIO

Hasta este punto del análisis, el servicio al cliente se ha referido al valor promedio de la variable que representa el servicio al cliente. Sin embargo, la variabilidad en el desempeño del servicio al cliente por lo general es más importante que el desempeño promedio. Los clientes pueden planear para un desempeño conocido del servicio al cliente o incluso marginal, pero la variabilidad en el desempeño del servicio será una incertidumbre. Altos grados de incertidumbre en el servicio ocasionan que el cliente incurra en altos costos a través de elevados inventarios, transportación acelerada y costos administrativos adicionales. Cuánta variabilidad permitir, es una cuestión económica. Cuando la variabilidad no puede controlarse, se puede utilizar la información para amortiguar los efectos de la incertidumbre.

Función de pérdida

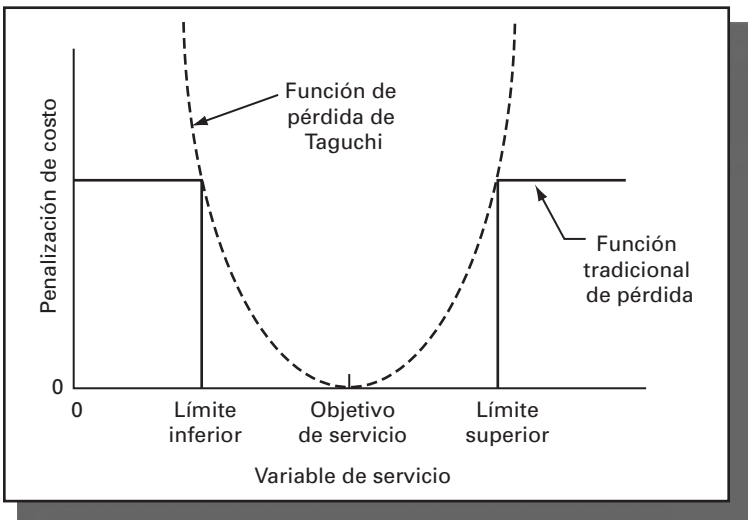
De la misma forma que puede juzgarse la calidad de un producto por la conformidad con especificaciones, el servicio logístico al cliente puede juzgarse por el grado con el que los procesos de la cadena de suministro cumplen los objetivos de fechas de entrega, frecuencias del inventario, tasas de precisión en el cumplimiento de pedidos y de otras variables de servicio. La calidad y el servicio al cliente son similares, y por ello mucho de lo que se ha dicho sobre la calidad de producto en los últimos 10 a 15 años aplica también para el servicio al cliente. La función de pérdida de Genichi Taguchi es útil para manejar los procesos que generan los niveles de servicio al cliente. Taguchi plantea que la calidad inconsistente del producto y de los servicios ocasiona gastos, desperdicio, pérdida de colaboración y de oportunidades siempre que el objetivo de calidad no se cumpla por completo. Tradicionalmente, la calidad ha sido satisfactoria y sin penalización de costos, siempre que la variación de la calidad se mantenga dentro de los límites superior e inferior de un rango aceptable (ver figura 4-11). De acuerdo con Taguchi, las pérdidas se presentan a mayor ritmo cuando el servicio (calidad) se desvía de su valor meta. Esta pérdida se incrementa a un ritmo creciente de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$L = k(y - m)^2 \qquad \textbf{(4-5)}$$

donde

L = pérdida en dólares por unidad (penalización de costo)
y = valor de la variable de calidad
m = valor objetivo de la variable de calidad
k = constante que depende de la importancia financiera de la variable de calidad

Figura 4-11
Función de pérdida de Taguchi aplicada al servicio logístico al cliente.



Cuando se conoce la función de pérdida, ésta asigna un valor al no cumplimiento de los objetivos del servicio al cliente. Junto con el costo de ajustar el proceso para lograr niveles distintos de calidad, el proceso puede optimizarse para el mejor nivel de variabilidad en la calidad.

Ejemplo

Suponga que un servicio de transporte de paquetería promete la entrega a los clientes a las 10:00 a.m. de la mañana siguiente al envío. La entrega atrasada más de dos horas después del tiempo prometido de entrega no es aceptable. La compañía es penalizada con $10.00 en forma de una rebaja para el cliente por cada entrega retrasada. Al convertir la penalización a una función de pérdida, puede obtenerse el valor k en la función de pérdida de la ecuación (4-5):

$$L = k(y - m)^2$$
$$10.00 = k(2 - 0)^2$$
$$k = \frac{10}{2^2} = \$2.5 \text{ por hora}^2$$

El valor de m se establece en 0, dado que sólo se busca la desviación y con respecto al valor objetivo.

El costo por entrega para controlar el proceso disminuye a medida que se permite una mayor desviación respecto del tiempo de entrega objetivo. La compañía estima que los costos de proceso son altos cuando no se permite ninguna desviación respecto del valor objetivo, pero éstos declinan en forma lineal con respecto del valor objetivo de forma que el costo de proceso = $A - B(y - m)$. Se observó que el costo de proceso disminuye ante una mayor desviación con respecto del valor objetivo de la forma $PC = 20 - 5(y - m)$.

El costo total será la suma del costo de proceso *(PC)* y el costo de penalización *(L)*. El punto $y - m$, donde la pérdida marginal equivale a costo del proceso marginal es[32]

$$(y - m) = \frac{B}{2k} = \frac{5}{2(2.5)} = 1 \text{ hora}$$

De esta forma, la compañía deberá establecer su proceso de servicio para permitir una desviación no mayor de una hora respecto del tiempo de entrega objetivo $m = 0$.

Sustitución de información

En ocasiones, la incertidumbre en el desempeño del servicio al cliente no puede controlarse al nivel que los clientes desearían. En tales casos, pudiera ser posible reducir el impacto de la incertidumbre mediante el uso de información como sustituto. Una práctica obvia es proporcionar a los clientes información sobre el progreso de su pedido. Los sistemas de rastreo de pedidos que proporcionan información desde el momento en que el pedido ingresa y hasta su entrega han crecido en popularidad. Su utilización dentro de sistemas justo a tiempo resulta esencial para la dirección del flujo del producto donde no se mantiene inventario o se mantiene muy poco. También están apareciendo en muchos sistemas de menudeo. El beneficio es que los clientes conocen la etapa de su pedido y pueden anticipar su llegada en vez de tener dudas sobre el progreso de la orden y que no sean capaces de planear en forma precisa los retrasos de entrega sobre los niveles de inventario, programas de producción, y similares. Un sistema de rastreo bien diseñado, además de proporcionar el estado de rastreo del pedido, proporcionará el estimado actual de los tiempos de finalización para cada etapa.

Observación

La corporación Dell, fabricante de computadoras personales, proporciona a sus clientes mediante el uso de Internet (y de un servicio telefónico al cliente) la capacidad de rastrear sus pedidos a lo largo del ciclo completo del pedido. Cuando un pedido se levanta a través del sitio Web de la compañía o mediante un vendedor, se proporciona al cliente un número de guía. El cliente podrá entonces obtener el estado del pedido mediante hipervínculo del sitio Web de Dell y observar si el pedido ha superado las etapas de ingreso de pedido, de producción o de preparación de envío. El estado del pedido se actualiza en tiempo real. Una vez que el pedido sale de la fábrica, también se proporciona una interfase con UPS o con otro transportista en la página Web para rastrear el pedido a través de las distintas etapas de la entrega al lugar del cliente. El cliente puede prever, dentro de un

[32] En forma alternativa, utilizando cálculo diferencial, la desviación óptima permitida respecto del valor objetivo puede obtenerse de la siguiente manera.

$$TC = A - B(y - m) + k(y - m)^2$$
$$\frac{dTC}{d(y - m)} = 0 - B + 2k(y - m) = 0$$
$$(y - m) = \frac{B}{2k}$$

pequeño margen de tiempo, el momento en el que el pedido llegará y puede hacer planes para su recepción.

El servicio como una restricción

El servicio al cliente con frecuencia se trata como una restricción sobre el sistema logístico cuando no es posible desarrollar una relación ventas-servicio. En este caso, se puede seleccionar un nivel predeterminado de servicio al cliente y se diseña el sistema logístico para cumplir con este nivel a un costo mínimo. El nivel de servicio con frecuencia se basa en factores como los niveles de servicio establecidos por la competencia, la opinión de los vendedores, y por la tradición. No existe garantía de que un nivel de servicio establecido de esta manera dé por resultado un diseño de sistema logístico que sea el mejor balanceado entre los ingresos y los costos logísticos.

Con objeto de caminar hacia un diseño de sistema óptimo cuando el servicio es manejado como una restricción, se puede utilizar el análisis de sensibilidad. En este caso, el análisis de sensibilidad implica modificar los factores que conforman al servicio y luego obtener el nuevo diseño de sistema de costo mínimo. Si se repite este tipo de análisis varias veces, se puede obtener un arreglo de costos de sistema para distintos niveles de servicio, como se ilustra en la tabla 4-3. Aunque no se conoce la forma en que el nuevo diseño de sistema logístico y el nivel de servicio resultante afectan las ventas, es posible atribuir un valor a un nivel de servicio. Como se muestra en la tabla 4-3, al mejorar el ser-

Tabla 4-3 Costos de diseño del sistema logístico como una función de los distintos niveles de servicio al cliente

Alternativa	Diseño del sistema logístico[a]	Costos logísticos anuales	Nivel de servicio al cliente[b]
1	Transmisión del pedido por correo, ingreso manual del pedido, transportación marítima, bajos niveles de inventario	$ 5,000,000	80%
2	Transmisión del pedido por correo, ingreso manual del pedido, transportación ferroviaria, bajos niveles de inventario	7,000,000	85
3	Ingreso del pedido por teléfono, transportación terrestre, bajos niveles de inventario	9,000,000	90
4	Ingreso del pedido por teléfono, transportación ferroviaria, altos niveles de inventario	12,000,000	93
5	Ingreso del pedido por teléfono, transportación terrestre, altos niveles de inventario	15,000,000	95
6	Ingreso del pedido por Web, transportación aérea, altos niveles de inventario	16,000,000	96

[a] Diseño del costo mínimo para producir el nivel indicado de servicio al cliente.
[b] Porcentaje de clientes que reciben los bienes dentro de cinco días.

vicio al cliente desde un nivel de 85% hasta un nivel de 90%, los costos de logística se incrementarán de $7 millones a $9 millones anuales. El valor atribuido de estos cinco puntos porcentuales en la mejora del servicio al cliente se encuentra en un costo adicional de $2 millones. De esta forma, deberá obtenerse suficiente incremento de las ventas como resultado de esta mejora del servicio para compensar los costos logísticos adicionales. La selección final de un nivel de servicio se deja a juicio directivo, pero la información sobre el costo de distintos niveles de servicio facilita el proceso de toma de decisiones.

Medición del servicio

Encontrar una medida integral para evaluar de manera eficaz el desempeño del servicio logístico al cliente es muy difícil, considerando las múltiples dimensiones del servicio a los clientes. El tiempo total del ciclo del pedido y su variabilidad son tal vez las mejores medidas del servicio logístico al cliente, ya que engloban muchas de las variables que se consideran importantes para los clientes. Pueden representarse en forma estadística por la media y la desviación estándar (por ejemplo, para el 95º percentila 10 ± 2 días), o en forma alternativa como un porcentaje de pedidos que cumplen los tiempos del ciclo de pedido objetivo.

El servicio al cliente también puede medirse en términos de cada una de las actividades logísticas. Algunas mediciones comunes de desempeño incluyen las siguientes:

Ingreso del pedido

- Tiempo mínimo, máximo y promedio para manejo de pedido.
- Porcentaje de pedidos manejados dentro de los tiempos objetivo.

Precisión de la documentación del pedido

- Porcentaje de documentos de pedido con errores.

Transportación

- Porcentaje de entregas a tiempo.
- Porcentaje de pedidos entregados en la fecha solicitada por el cliente.
- Reclamaciones de daños y pérdidas como porcentaje de los costos de transportación.

Disponibilidad de producto e inventario

- Porcentaje de falta de inventario.
- Porcentaje de pedidos cumplidos en su totalidad.
- Tasa de cumplimiento de pedidos y tasa de cumplimiento de promedio ponderado.
- Porcentaje promedio de artículos de pedido con retraso.
- Tasa de cumplimiento de artículos.

Daño del producto

- Número de devoluciones con respecto de los pedidos totales.
- Valor de las devoluciones con respecto de las ventas totales.

Tiempo de procesamiento de almacenamiento/producción

- Tiempo mínimo, máximo y promedio para procesar pedidos.

Pueden utilizarse muchas otras medidas y deberán adecuarse al diseño del sistema logístico particular operado por la compañía.

Existen dos problemas potenciales en estas mediciones de servicio. En primer lugar, éstas se encuentran orientadas en forma interna a la empresa, tal vez porque la información está más disponible y el control es más fácil en comparación con las mediciones orientadas externamente. Por otro lado, éstas no promueven la coordinación que es esencial para un buen desempeño del servicio al cliente que incluye a múltiples miembros del canal. Todavía quedan por desarrollar mediciones adecuadas de servicio orientadas externamente.

En segundo lugar, éstas pueden no estar enfocadas a las necesidades de los clientes. Con frecuencia, las empresas miden el servicio al cliente en términos de aquellos elementos bajo su control directo. Definiciones y mediciones estrechas del servicio al cliente pueden llevar a la empresa a creer que se encuentra desempeñando adecuadamente, pero los clientes pueden observar que el servicio no incluye todos los factores de servicio importantes para ellos. Esto deja a la empresa inconscientemente vulnerable ante los competidores que reconocen la necesidad de servicio total al cliente y manejan el desempeño del servicio desde el punto de vista del cliente.

Observación

Un gran productor de equipo de control de movimiento de fluido (mangueras, conectores, cilindros hidráulicos e instrumentación de control) cuenta con un mercado importante en Latinoamérica. El servicio al cliente para la compañía se mide como porcentaje de los pedidos enviados (desde la fábrica o almacén) en la fecha solicitada por el cliente. Dado que los clientes seleccionaban su agente de transportación favorito para el transporte marítimo a los países del Caribe y Sudamérica, parecería que los clientes estarían satisfechos. Sin embargo, la compañía colocó 40% del tiempo total de ciclo del pedido en manos de sus clientes. Los clientes seleccionaron los medios de transporte desde las fábricas, ya que la compañía no ofrecía alternativas. Con su estrecha definición del servicio al cliente, la compañía no sólo perdía la oportunidad de utilizar su volumen de envíos para obtener mejores alternativas de servicio marítimo o de menor costo (como mediante un tercero proveedor logístico o 3PL) que las que el cliente podía obtener actuando en forma independiente, sino que se colocó en una posición vulnerable ante sus competidores, quienes buscaban manejar los ciclos de pedido completos del cliente.

Contingencias del servicio

Una buena parte del esfuerzo de control y planeación del responsable de logística está dirigida hacia la ejecución de una operación eficiente bajo condiciones normales. Al mismo tiempo, se deben tomar medidas para manejar aquellas circunstancias extraordinarias que pudieran detener al sistema o alterar de manera drástica sus características operativas en corto tiempo, como paros laborales, incendios, inundaciones o defectos peligrosos de productos. Dos contingencias comunes son las fallas en el sistema y el retiro de un producto del mercado.

Interrupciones del sistema

Ningún sistema logístico en operación puede funcionar perfectamente todo el tiempo. Pueden ocurrir algunas interrupciones del sistema, pero no necesariamente las conside-

raríamos de suficiente importancia como para tener planes especiales listos en caso de que se presenten. Al acelerar una orden de compra atrasada, al manejar picos de carga de pedidos estacionales, o al tener equipo redundante para hacer frente a las fallas, ninguna de estas situaciones requiere en realidad planes de contingencia debido a que son parte normal de la actividad de los negocios.

Ejemplo

Federal Express emplea aviones "de servicio rápido" para hacer frente a los picos de volumen, retrasos debido al clima y fallas en el equipo. La compañía considera esta redundancia como una parte normal de su negocio altamente orientado al servicio.

La planeación de contingencia es diferente y está fuera del proceso normal de planeación. Hale clasifica la naturaleza del evento para indicar cuándo debe llevarse a cabo la planeación de contingencia:

- La probabilidad de ocurrencia se considera más baja que para los eventos incluidos en el proceso regular de planeación.
- La ocurrencia real de un evento así causaría grave daño, en especial si no se maneja con rapidez.
- Su relación con asuntos sobre los cuales la compañía puede planear por anticipado para hacer frente a la situación con presteza si ocurre el evento.[33]

No hay métodos especiales para la planeación de contingencias. Simplemente es cuestión de hacer preguntas condicionales acerca de elementos críticos del sistema de logística y establecer los cursos apropiados de acción, en caso de que un evento inesperado ocurra en una parte vital del sistema de logística. El deseo de la dirección de asegurar el nivel meta de servicio al cliente recrudece la necesidad de asumir este tipo de planeación.

Aplicación

El almacén de la Costa Oeste de Estados Unidos de una muy conocida fábrica de equipo de copiado para oficina se incendió completamente un viernes por la tarde. El almacén, que contenía las partes de reemplazo para las copiadoras de oficina y suministros generales, daba servicio a una porción sustancial del área de la costa oeste. Si consideramos la naturaleza competitiva de ese negocio, el incendio representó un desastre potencial en ventas perdidas. Una parte del sistema de distribución se había estropeado.

Afortunadamente, el equipo de distribución de la compañía había anticipado esta posibilidad y tenía planes para casos de contingencia para un evento así. Para el lunes, la compañía había enviado por transportación aérea suficiente inventario a un almacén público para que estuviera listo para la operación. El servicio al cliente se mantuvo tan cerca de los niveles previos que muchos clientes no se enteraron de que había tenido lugar un incendio.

[33] Bernard J. Hale, "The Continuing Need for Contingency Planning by Logistics Managers," *Proceedings of Council of Logistics Management,* Vol. I (Atlanta, 27-30 de septiembre de 1987), pág. 93.

Martha y Subbakrishna reconocen la particular vulnerabilidad de la cadena de suministros debido a su diseño basado en velocidad y eficiencia. La respuesta rápida, la logística "tendenciosa", y las entregas justo a tiempo han sido impulsadas durante los últimos 30 años como una forma de reducir inventarios, liberar capital y mejorar la calidad. Esta estrategia de logística recrudece el riesgo y el impacto de los trastornos, debido a que se requiere un flujo continuo de producto a lo largo de la cadena de suministros en el tiempo preciso. Existe poco o ningún inventario para aliviar el impacto de los trastornos en las distintas etapas de la cadena de suministros. La cadena completa de suministros puede estar en riesgo de cierre. Se han sugerido las siguientes acciones para aminorar o evadir el impacto de interrupciones repentinas en la cadena de suministros:

- Asegurar el riesgo.
- Planeación de fuentes alternativas de suministro.
- Organizar transportación alternativa.
- Desplazar la demanda.
- Establecer una respuesta rápida a los cambios en la demanda.
- Establecer inventarios para las posibilidades de trastornos.[34]

El aseguramiento en caso de pérdida financiera es una protección obvia para la interrupción del sistema. Sin embargo, como las compañías aseguradoras excluyen de manera selectiva ciertos tipos de riesgos, como el terrorismo, se necesita tomar otras medidas, generalmente dirigidas a la preservación de los niveles de servicio o al mantenimiento de satisfacción de los clientes durante las interrupciones del servicio.

Mantener múltiples fuentes de suministro o la planeación de proveedores alternativos puede permitir el flujo del producto durante los trastornos de la cadena de suministros. La dependencia en una sola fuente de suministros es el riesgo mayor. En años recientes se ha impulsado mantener una sola fuente de suministros por los partidarios de los sistemas justo a tiempo.

Ejemplo

Cuando el huracán Mitch atacó América Central, la inundación destruyó plantaciones de plátanos, y dos de los principales productores perdieron mucho de su capacidad. Dole perdió 70% de su capacidad ahí, o casi un cuarto de su capacidad total. Debido a que Dole no tenía fuentes de suministro alternativas, la compañía experimentó una caída de 4% en ingresos.

Por otro lado, Chiquita Brands pudo mantener el abasto. Incrementó su productividad en otras ubicaciones, como Panamá, e hizo adquisiciones de productores relacionados en las regiones que no fueron dañadas por el huracán. Como resultado, los ingresos de Chiquita se incrementaron 4% en el último trimestre de 1998.

La transportación es un elemento particularmente vulnerable dentro del canal de suministros. Organizar de antemano formas alternativas de entrega es la respuesta obvia a trastornos provenientes de huelgas, desastres naturales y terrorismo. Sustituir un modo por otro o utilizar rutas alternativas ofrece la flexibilidad necesaria. Por supuesto, puede haber un costo adicional por mantener la cadena de suministros en operación.

[34] Joseph Martha y Sunil Subbakrishna, "Targeting a Just-in-Case Supply Chain for the Inevitable Next Disaster," *Supply Chain Review,* Vol. 6, Núm. 5 (2002), págs. 18-23.

El desplazamiento de la demanda es una forma indirecta de hacer frente a las interrupciones en el suministro. Este es el reconocimiento de que cuando un producto no puede estar disponible, los clientes pueden verse alentados mediante incentivos para seleccionar un producto alternativo. Las ventas pueden mantenerse hasta que el desempeño de la cadena de abasto se restaure.

Ejemplo

Cuando un terremoto golpeó a Taiwán en 1999, el suministro de componentes para los fabricantes de PC y computadoras portátiles se vio interrumpido por dos semanas. Apple Computer padeció escasez de semiconductores y componentes para sus populares productos. Aunque se hicieron intentos para enviar versiones de más baja velocidad de estos modelos, los clientes protestaron. Los problemas de suministro continuaron dado que las configuraciones del producto no eran susceptibles de alterarse.

En cambio, le fue mejor a Dell Computer. Mediante su sitio Web de selección de producto para promover tratos especiales e incentivos de precios, Dell pudo desplazar una parte de la demanda hacia otros productos que no se vieron afectados por la escasez. Las ganancias en realidad mejoraron 41% durante el trimestre afectado por las interrupciones en el suministro.

Cuando los terroristas atacaron el World Trade Center, los trastornos subsecuentes en los viajes desplazaron la demanda de manera repentina hacia otras formas de transportación. Cuando el clima crudo del invierno hace lentos los viajes en camión en los estados del norte, la demanda se desplaza al tren. Cuando las compras de grano ruso incrementaron la demanda de vagones de ferrocarril, quienes normalmente hacían sus envíos en tren se encontraron con escasez de vagones. Los picos en la demanda con frecuencia no son absorbidos dentro de la operación normal de un canal de suministros. La flexibilidad planeada se vuelve necesaria. Los canales de suministro que se construyen en torno a proveedores o puntos de producción múltiples, inventarios y métodos mixtos de transporte pueden manejar mejor los impactos en la demanda. Los sistemas logísticos "tendenciosos" no. Pueden necesitarse capacidad extra y sistemas de rápida respuesta para enfrentar cambios inesperados en los niveles de demanda, tal vez a un costo adicional.

Los inventarios han sido la forma principal como las compañías han enfrentado los trastornos. Actúan como una red de seguridad o como amortiguadores cuando la demanda y la oferta no coinciden. Los programas de justo a tiempo y los programas de logística "tendenciosa" han minimizado los inventarios e incrementado el efecto negativo de los retrasos o de las suspensiones temporales por parte del canal de suministros. Los inventarios establecidos o crecientes en puntos clave del canal de suministros pueden reducir en forma significativa los efectos de algunos tipos de trastorno.

Las acciones tomadas para enfrentar los riesgos relacionados con las interrupciones del sistema debidas a distintos trastornos en general ocasionan costos mayores, a menos que se permita que el servicio se deteriore. Aunque una cadena de suministros que funciona sin problemas es lo ideal, la realidad es que los desastres ocurren. Los directivos responsables se tomarán tiempo para anticipar los eventos que pudieran ocurrir y planearán en consecuencia.

Algunas veces ocurren eventos que tienen tan baja probabilidad que no se anticipan en lo absoluto. Los planes de contingencia no se pueden formular debido a que los eventos mismos no pueden ser definidos de manera adecuada. En tales casos, la planeación de

contingencias puede implicar la necesidad de tener un equipo de crisis en su lugar, dispuesto a ser activado cuando se presente una emergencia. Ser capaz de responder rápido y eficientemente a alternativas logísticas a medida que se desenvuelvan puede ser la clave para mantener las operaciones cuando ocurran trastornos imprevistos.

Ejemplo

Chrysler activó su centro de mando logístico cuando los terroristas atacaron el World Trade Center en la ciudad de Nueva York, lo que dio como resultado un cese temporal de los vuelos aéreos locales y retrasó la transportación terrestre hacia fronteras internacionales cuando la seguridad era reforzada. Chrysler, como otros productores de autos, estaba operando sus plantas bajo un sistema de fabricación justo a tiempo. Se mantenían inventarios muy bajos en las plantas, los cuales dependían de un sistema operativo de transportación manejable que podía transportar confiablemente con frecuencia pequeñas cantidades de partes o refacciones. Incluso trastornos menores podrían causar que la planta cerrara por falta de partes.

El equipo de dirección de crisis manejó esta contingencia con las siguientes acciones:

- Cierre de plantas por un día.
- Con sus contrapartes GM y Ford, intentaron persuadir a las autoridades de las aduanas estadounidenses de añadir más inspectores al enlace principal de camiones entre Detroit y Ontario, Canadá, para agilizar el congestionamiento de camiones.
- Mandar avisos en forma electrónica a 150 de sus proveedores más grandes para que hicieran un embarque extra con valor de ocho a 12 horas de partes a las plantas.
- Cuando los vuelos comerciales pudieron reanudarse dos días más tarde, se instruyó a los camioneros en ruta que se dirigieran al aeropuerto más cercano donde un avión recogería la carga y la enviaría a las plantas en Estados Unidos y México.

¡El resultado fue que las operaciones de la planta fueron detenidas por sólo un día![35]

Retiro del producto

El nacimiento del consumismo ha enfocado la atención de muchas compañías en el cliente con una intensidad nunca antes suscitada. Encabezado por Ralph Nader, el movimiento consumista ha incrementado la conciencia del público sobre ofertas de productos en general y de productos defectuosos en particular. En 1972, el Congreso aprobó la ley de protección a los productos de consumo, que permitía a la comisión de seguridad de productos de consumo establecer estándares obligatorios de seguridad para los productos. Parte de esta conciencia fue obligada. Por ejemplo, la comisión de seguridad de productos de consumo podía pedir a una fábrica retirar un producto para repararlo, reemplazarlo o destruirlo. El incumplimiento podía traer penalizaciones civiles o encarcelamiento. Éstas son sólo las acciones legales evidentes. Muchas compañías ven en las fallas del manejo de productos defectuosos las causas de la pérdida de la confianza del cliente y de posibles repercusiones legales. El punto es que los riesgos son más grandes que nunca para la compañía que falla en anticipar una posibilidad de retiro del producto.

[35] Jeffrey Ball, "How Chrysler Averted Parts Crisis in the Logjam Following Attacks", *Wall Street Journal,* 24 de septiembre de 2001.

La planeación de retiro del producto para contingencias implica casi toda función dentro del negocio. Los encargados de los asuntos logísticos se ven particularmente afectados. Son responsables del canal de logística a través del cual es probable que tenga lugar el movimiento inverso. Los encargados de la logística están implicados en el retiro de productos en tres formas: presidiendo un grupo de trabajo para el retiro del producto, rastreando el producto y diseñando el canal logístico inverso.

Uno de los primeros pasos en la planeación para un retiro futuro, o para responder a uno que ya ha ocurrido, es establecer un comité de propósito específico que guíe los esfuerzos del retiro. Debido a que el principal deber de un comité como éste es jalar el producto hacia el fabricante, es probable que el ejecutivo de distribución sea quien encabece a dicho comité. El comité también puede ser responsable de detener la producción, comenzar la acción de retiro y llevar a cabo los pasos necesarios para cumplir con las agencias reguladoras apropiadas.

Tratar de retirar productos que no pueden ser fácilmente localizados dentro del sistema de distribución puede ser una operación muy costosa e innecesaria si el retiro pudiera haber sido prevenido. Hay dos métodos populares de rastreo de productos. Por años las empresas han estado codificando productos con base en la ubicación de su fabricación. Debido a que algunas empresas se han implicado en la codificación más amplia a medida que el producto se desplaza a través de distintos lugares dentro del canal de distribución, el código de fabricación podrá sólo aproximar la ubicación final de los productos. Sin embargo, está disponible de inmediato.

El segundo método de rastreo utiliza una tarjeta de información de garantía. Estos métodos también tienen sus fallas. Se limita a aquellos productos que utilizan tales tarjetas, y no todas las tarjetas son devueltas por los clientes. Para un mejor rastreo, un minorista de equipo electrónico requiere que todos los clientes llenen una tarjeta de identificación en el punto de venta.

El rastreo de productos está mejorando sustancialmente mediante el empleo de computadoras. Considérense algunos ejemplos:

- Con el uso de códigos de barras, comunicaciones por satélite, camiones con comunicaciones radiales con computadoras a bordo y lectores ópticos manuales, el sistema COSMOS de rastreo de paquetes de Federal Express puede localizar un paquete en cualquier lugar en el sistema.
- Pillsbury, a través de su sistema de control de producto e identificación, puede localizar productos durante las etapas de producción hasta los inventarios al menudeo. Puede rastrear 98% de sus productos en plazo de 24 horas y el 100% en días.
- Ford Motor Company utiliza un sistema automatizado llamado North American Vehicle Information System para rastreo de productos. Este sistema puede identificar cada una de las 15,000 partes de un vehículo para aproximadamente 4 millones de unidades vendidas por año.

La decisión final de retirar un producto se relaciona con la forma como los bienes se mueven hacia atrás a través del canal de distribución, o del diseño del sistema de distribución inverso. Dependiendo de la naturaleza del defecto del producto y de cómo planee la compañía manejarlo, se puede usar todo el canal de distribución o una porción del mismo. Los autos retirados se regresan sólo a los centros de servicio de los concesionarios. Por otra parte, muchos aparatos pequeños y bienes electrónicos se regresan a la fábrica o centros de servicio regional para reparación o reemplazo.

Ejemplo

Cuando la CVS Corporation, cadena minorista y proveedora farmacéutica, recibe mercancía devuelta en una tienda de venta al menudeo o debe retirar un producto, toda la

mercancía es regresada inicialmente al almacén que atiende a la tienda. El fabricante informa a CVS de la disposición del producto. Muchos fabricantes eligen dar a CVS crédito por el artículo y destruirlo en el sitio en vez de pagar la transportación y los cargos de manejo por regresarlos a sus fábricas.

El diseño del canal para movimiento hacia atrás requiere considerar las características del producto, el cliente, el intermediario y la compañía, así como la naturaleza del defecto, la cobertura del mercado, tipo de retiro, programa corrector requerido, sistema de distribución actual y capacidades financieras de la empresa. Aunque superficialmente el retiro de productos de sus distribuidores y clientes a través de los canales de distribución existentes puede parecer la mejor estrategia, quizás esto no sea la mejor opción. Un posible peligro es contaminar el flujo bueno de productos en el canal con el producto retirado. En tales casos, la empresa que retira puede establecer un canal separado (por ejemplo, un almacén público y contratar transportistas) para manejar específicamente el retiro. Existen tantas variables para el diseño de la logística de canal inverso como circunstancias de retiro del producto. El responsable de logística debe estar conciente de la variedad de diseños de canal disponibles y quizá no sea necesario confinar productos retirados al canal de distribución existente.

¿Por qué se considera un retiro de producto en un análisis de la logística de servicio al cliente? Tradicionalmente, los bienes se consideran como un flujo del fabricante al cliente. El servicio al cliente reflejaba la idea de proveer al cliente, no de servirlo. Ahora, sin embargo, el movimiento de consumismo, así como el movimiento de reciclado, ha generado preocupación por el servicio al cliente después de la venta del producto. Por lo tanto, el responsable de logística debe interesarse en el diseño de canales de flujo de producto para satisfacer las necesidades del cliente antes y después de la compra.

Ejemplos

- Cuando Xerox instala una copiadora grande y nueva para un cliente, la copiadora se envía de un almacén central a un lugar temporal en el área del cliente. Un equipo de instalación local recoge la copiadora de la ubicación temporal, la transporta al sitio del cliente y completa su instalación. Si es que hay alguna máquina anterior, se regresa a la ubicación temporal y por último es enviada a un centro de renovación en Arizona para restaurarla y revenderla. Cuando el responsable de la logística planea las ubicaciones de instalaciones temporales, debe preocuparse tanto del movimiento hacia adelante del producto a los clientes así como del movimiento de devolución de las copiadoras usadas. Las mejores ubicaciones de instalaciones temporales pueden ser diferentes cuando sólo se considera el movimiento del producto hacia adelante en oposición al movimiento del producto tanto en las direcciones hacia adelante como hacia atrás.
- Los comerciantes minoristas en Estados Unidos muchas veces se enfrentan a artículos devueltos como resultado de políticas liberales de devoluciones de las tiendas y algunas veces por un pobre desempeño del producto. Debido a que a los artículos devueltos con frecuencia les faltan partes o no funcionan, o el empaque ya no está presentable, los minoristas se enfrentan con el problema de recibir crédito del fabricante por el artículo, reacondicionarlo, o marcarlo como artículo abierto. Como alternativa, grandes comerciantes como Wal-Mart pueden vender estos artículos a

empresas mexicanas que los adquieren por una fracción de su valor al menudeo, pero por más que el valor con descuento que ese artículo pueda tener en el aparador de venta al menudeo como artículo reacondicionado o abierto. Los artículos son enviados a una planta mexicana donde son restaurados, si es posible, y vendidos como nuevos en mercados latinoamericanos. Muchas veces se venden a un precio más alto que el que tenían en el mercado estadounidense.

Comentarios finales

El servicio logístico al cliente es el resultado final de ejecutar todas las actividades en la mezcla logística. Aunque no existe acuerdo general en cuanto a la definición más apropiada de servicio logístico al cliente, las investigaciones parecen indicar que el tiempo del ciclo de pedido y los elementos que lo componen están entre los más críticos. Aun para el servicio general al cliente, los componentes logísticos del servicio al cliente parecen tener una función dominante.

Debido a que el servicio al cliente tiene un efecto positivo en las ventas, la forma más apropiada de abordar la planeación logística es desde un punto de vista de maximización de utilidades en vez de uno de minimización de costos. La determinación de cómo responden las ventas al servicio ha probado ser muy difícil y en el mejor de los casos de exactitud cuestionable. Esto ha llevado en general a los gerentes a especificar un nivel de servicio y planear alcanzarlo en la forma más económica posible. Sin embargo, en aquellos casos donde la demanda parece ser particularmente sensible al servicio, la relación ventas-servicio puede determinarse por uno o más de los siguientes métodos: de dos puntos, de experimentos antes-después, de juego y de encuestas al comprador. Una vez que se conoce esta relación, los costos pueden balancearse contra los ingresos, de tal forma que los niveles de servicio óptimos puedan encontrarse y los rendimientos sobre los activos logísticos (ROLA) puedan maximizarse.

Las preocupaciones de servicio al cliente pueden extenderse más allá de la satisfacción de los clientes bajo condiciones normales de operación. Los directivos prudentes también debieran planear para los raros casos en que falle el sistema de logística o cuando deba retirarse un producto. Las acciones planeadas con anterioridad para eventos contingentes pueden prevenir una pérdida de confianza de los clientes que puede tomar largo tiempo para recuperarse una vez que sea restaurado el desempeño de un servicio bueno bajo condiciones normales. Cuando resulta poco práctico proporcionar a los clientes el nivel de servicio deseado o existen otras fallas temporales en el desempeño del servicio, la información en tiempo real acerca del estado del servicio puede utilizarse para reducir los efectos negativos del bajo desempeño del servicio.

Preguntas

1. El servicio logístico al cliente debe ser cuantificado en términos del tiempo del ciclo del pedido promedio y de la variabilidad del tiempo del ciclo del pedido. ¿Qué tan satisfactorio es esto como afirmación general del servicio logístico al cliente? ¿Del servicio al cliente en general?
2. ¿Qué factores conforman el tiempo del ciclo del pedido? ¿Cómo difieren estos factores, ya sea si los pedidos se atienden dentro de un canal de distribución normal o mediante un canal de respaldo cuando se presenta una situación de falta de inventario?

3. ¿Qué resultados de la administración de todas las actividades en la mezcla logística dan lugar en el servicio al cliente?
4. ¿Qué es una relación logística de ventas-servicio? ¿Cómo se puede determinar para una línea de producto en particular? ¿De qué valor es la relación una vez que se obtiene?
5. ¿Cómo puede la información, como un sistema de rastreo de pedido, ser un sustituto del desempeño del servicio al cliente?
6. Cleanco Chemical Company vende compuestos de limpieza (polvos lavatrastes, limpiadores de piso, lubricantes sin petróleo) en un gran ambiente competitivo para restaurantes, hospitales y escuelas. El tiempo de entrega de pedidos determina si se puede hacer una venta. El sistema de distribución se puede diseñar para proporcionar diferentes niveles promedio de tiempo de entrega a través del número y ubicación de los puntos de almacenaje, niveles de inventario y procedimientos de procesamiento de pedidos. El director de la distribución física ha hecho las siguientes estimaciones de cómo el servicio afecta las ventas y el costo de proveer los niveles de servicio:

	Porcentaje de los pedidos entregados en un día						
	50	60	70	80	90	95	100
Estimación de ventas anuales (millones de $)	4.0	8.0	10.0	11.0	11.5	11.8	12.0
Costo de distribución (millones de $)	5.8	6.0	6.5	7.0	8.1	9.0	14.0

   a. ¿Qué nivel de servicio debe ofrecer la compañía?
   b. ¿Qué efecto es probable que tenga la competencia en la decisión de nivel de servicio?
7. Cinco años atrás, Norton Valves, Inc., introdujo y efectuó un programa de publicidad en el que 56 artículos en su línea de válvulas hidráulicas estarían disponibles en una base de entrega de 24 horas en vez del periodo normal de entrega de 1 a 12 semanas. El procesamiento rápido de pedidos, el aprovisionamiento para la demanda anticipada, y el uso de servicios de transportación de primera cuando fuera necesario fueron los elementos del programa de entrega en 24 horas. La historia de las ventas se registró para los cinco años anteriores al cambio de servicio, así como para un periodo de cinco años después del cambio. Debido a que sólo una parte de la familia del producto estaba sujeta a la mejora del servicio, los productos restantes (102 artículos) sirvieron como grupo de control. Las estadísticas para uno de los grupos de prueba del producto mostraban los niveles anteriores y posteriores de ventas unitarias anuales como sigue:

	Ventas anteriores al cambio del servicio		Ventas posteriores al cambio del servicio	
Familia del producto	Promedio de 5 años	Desviación estándar[c]	Promedio de 5 años	Desviación estándar[c]
Grupo de prueba[a]	1,342	335	2,295	576
Grupo control[b]	185	61	224	76

[a] Productos en la familia con entrega de 24 horas.
[b] Productos en la familia con entrega de 1 a 12 semanas.
[c] Para las ventas individuales.

El valor promedio de los productos en esta familia era $95 por unidad. El costo por incremento para el servicio mejorado era de $2 por unidad, pero la compañía no intentó pasar por alto los costos al incrementarse el precio. En vez de ello esperó a que el volumen de ventas adicionales compensara los costos adicionales. El margen de utilidad en ventas en ese momento era de 40 por ciento.

a. ¿Debe continuar la compañía con la política de servicio de primera?
b. Evalúe la metodología como una forma de determinar de manera precisa el efecto de venta-servicio.

8. Una compañía de alimentos intenta establecer el nivel de servicio al cliente (probabilidad de existencias en su almacén) para un artículo de una línea de producto particular. Las ventas anuales por el artículo consisten en 100,000 cajas o 3,846 cajas cada dos semanas. El costo del producto en inventario es $10, al cual se le añade $1 como margen de utilidad. El reabastecimiento de existencias es cada dos semanas y la demanda durante este tiempo se supone que se distribuye normalmente con una desviación estándar de 400 cajas. Los costos de manejo de inventario son 30% por año de valor del artículo. La dirección estima que ocurrirá 0.15% de cambio en el ingreso total por cada 1% de cambio en la probabilidad de contar con inventario.
   a. Con base en esta información, encontrar la probabilidad óptima de contar con el artículo en inventario.
   b. ¿Cuál es el eslabón más débil en esta metodología? ¿Por qué?
9. Un artículo en la línea de productos para la compañía de alimentos analizada en la pregunta 8 tiene las siguientes características:

   Tasa de respuesta de ventas = 0.15% de cambio en el ingreso por 1% de cambio en el nivel de servicio
   Margen de negocio = 0.75 por caja
   Ventas anuales a través del almacén = 80,000 cajas
   Costo anual de manejo = 25%
   Costo de producción estándar = $10.00
   Desviación estándar de la demanda = 500 cajas por un tiempo de espera de una semana
   Tiempo de espera = 1 semana

   Encuentre el nivel de servicio óptimo para este artículo.
10. Un minorista tiene como objetivo que un artículo de estante esté fuera de inventario sólo 5% del tiempo *(m)*. Los clientes han llegado a esperar tanto este nivel de disponibilidad de producto, que cuando el porcentaje de falta de existencias se incrementa, los clientes buscan sustitutos y ocurren pérdidas de ventas. A partir de estudios de investigación de mercado, el minorista ha determinado que cuando la probabilidad de falta de existencias se incrementa a un nivel de 10% *(y)*, las ventas y la utilidad caen a la mitad de aquellas en el nivel meta. Reducir el porcentaje de falta de existencias desde el nivel meta parece tener un impacto pequeño en las ventas, pero incrementa los costos de manejo de inventario de manera sustancial. Se han recabado los siguientes datos sobre el artículo:

Precio	$5.95
Costo del artículo	4.25
Otros gastos asociados con el almacenamiento del artículo	$0.30
Los artículos anuales vendidos @ 95% en existencias	880

El minorista estima que por cada punto porcentual que la probabilidad en existencias se permita variar a partir del nivel meta, el costo unitario de suministrar el artículo se reduce según $C = 1.00 - 0.10(y - m)$, donde C es el costo por unidad, y es el porcentaje de falta de existencias, m es el porcentaje de falta de existencias meta.

¿Cuánta variabilidad del porcentaje de almacenamiento objetivo debe permitir el minorista?

11. Evalúe los diferentes métodos por medio de los cuales puede determinarse una relación de la logística ventas-servicio. ¿Bajo qué circunstancias supone usted que un método pueda ser más apropiado que otro? Si no se puede establecer en forma razonable ninguna relación ventas-servicio, ¿cómo puede el responsable de logística diseñar el sistema logístico?
12. Analice la magnitud del efecto que cada elemento del ciclo de pedido tendrá en el diseño del sistema logístico.
13. Señale algunas de las acciones que el responsable de logística debe llevar a cabo en caso de que el sistema logístico falle debido a lo siguiente:
    a. Un incendio en el almacén.
    b. Una huelga de transportistas.
    c. Carencia de mano de obra para procesamiento de pedido o para cumplimiento de pedido.
    d. Escasez de materia prima clave para la manufactura.
    e. El sistema de administración de transportes basado en Internet es inoperante.
14. Sugiera cómo puede rastrearse un producto y qué métodos podrían utilizarse para mover el producto hacia atrás en el canal de distribución en las siguientes situaciones de retiro de producto:
    a. Una parte defectuosa de un automóvil.
    b. Un equipo defectuoso de televisión de 27 pulgadas.
    c. Una parte defectuosa en un trasbordador espacial.
    d. Un programa de software defectuoso para una microcomputadora.
    e. Medicamentos contaminados en un estante de venta al menudeo.

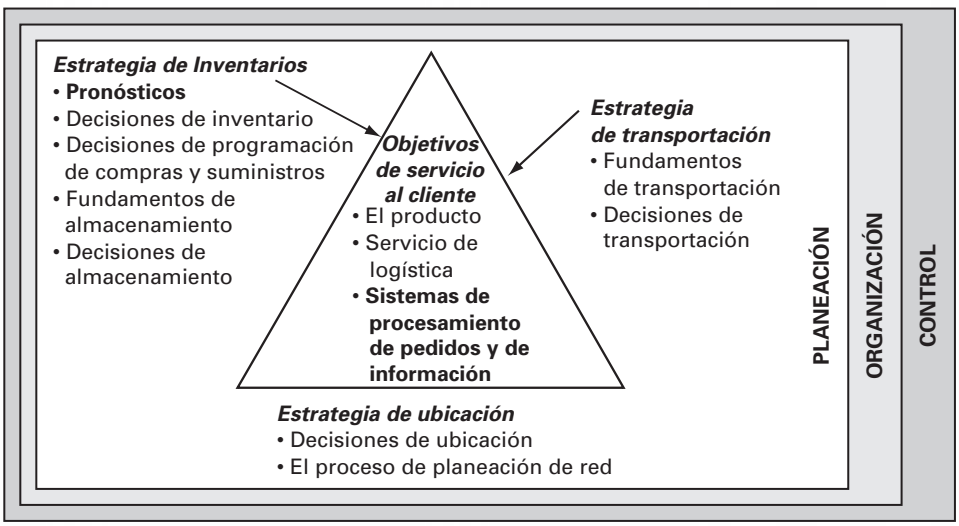
Capítulo 5

Procesamiento de pedidos y sistemas de información

La diferencia entre una logística mediocre y otra excelente es, a menudo, la capacidad de la empresa de contar con la tecnología logística de la información.

—DALE S. ROGERS, RICHARD L. DAWE Y PATRICK GUERRA[1]

El tiempo requerido para completar las actividades del ciclo del pedido está en el núcleo del servicio al cliente. Se ha estimado que las



[1] Dale S. Rogers, Richard L. Dawe y Patrick Guerra, "Information Technology: Logistics Innovations for the 1990s", *Annual Conference Proceedings,* Vol. II (Nueva Orleans, LA: Council of Logistics Management, 1991), pág. 247.

actividades relacionadas con la preparación, transmisión, entrada y levantamiento de un pedido representan del 50 al 70% del tiempo total del ciclo del pedido en muchas industrias.[2] Por lo tanto, si se tiene que dar un alto nivel de servicio al cliente mediante tiempos cortos y consistentes con el ciclo del pedido, es esencial que se administren cuidadosamente esas actividades del procesamiento de los pedidos. La administración comienza comprendiendo las alternativas disponibles para el procesamiento de los pedidos.

Con los años, el costo de tener información a tiempo y confiable en toda la cadena de suministros ha descendido en forma notable, en tanto que los costos de mano de obra y de materiales han aumentado. Debido a ello, se han hecho crecientes esfuerzos para sustituir recursos con información. Por ejemplo, se ha usado la información para reponer inventarios, reduciendo así los costos de logística. Además de examinar la forma en que se maneja el procesamiento de los pedidos, exploraremos también los sistemas logísticos de información, en especial lo referente a cómo se han manejado para mejorar el proceso de la cadena de suministros.

Definición del procesamiento del pedido

El procesamiento del pedido está representado por el número de actividades incluidas en el ciclo del pedido del cliente (véase de nuevo la figura 4-3). Específicamente, incluyen la preparación, la transmisión, la entrada, el surtido y el informe sobre el estado del pedido, tal y como se ilustra en la figura 5-1. El tiempo requerido para completar cada actividad depende del tipo de petición implicada. El procesamiento del pedido para una venta al menudeo quizá será diferente al de una venta industrial. Desarrollaremos esto basándonos en lo aprendido en el capítulo 4.

Preparación del pedido

Preparación del pedido se refiere a las actividades de recopilar la información necesaria sobre los productos y servicios deseados, así como a la requisición formal de los productos que se vayan a comprar. Puede incluir elegir un vendedor apropiado, llenar un formulario de pedido, determinar la disponibilidad de existencias, comunicar por teléfono la información del pedido a un empleado de ventas o seleccionarlo de un menú en la página Web. Como se ilustra a continuación, esta actividad se ha beneficiado mucho de la tecnología electrónica.

- A todos nos es familiar la lectura del código de barras de nuestra compra al momento de pagar en la caja del supermercado. Dicha tecnología acelera la preparación del pedido al recopilar electrónicamente la información sobre el artículo vendido (tamaño, cantidad y descripción) y presentándola a una computadora para su posterior procesamiento.
- Hoy en día, muchos vendedores tienen páginas Web en Internet que suministran amplia información sobre sus productos, e incluso permiten colocar pedidos directamente a través de dichas páginas Web. Los productos que están razonablemente estandarizados (mantenimiento, reparación, piezas de repuesto, etc.) son buenos

[2] Bernard J. LaLonde y Paul H. Zinszer, *Customer Service: Meaning and Measurement* (Chicago: National Council of Physical Distribution Management, 1976), pág. 119.

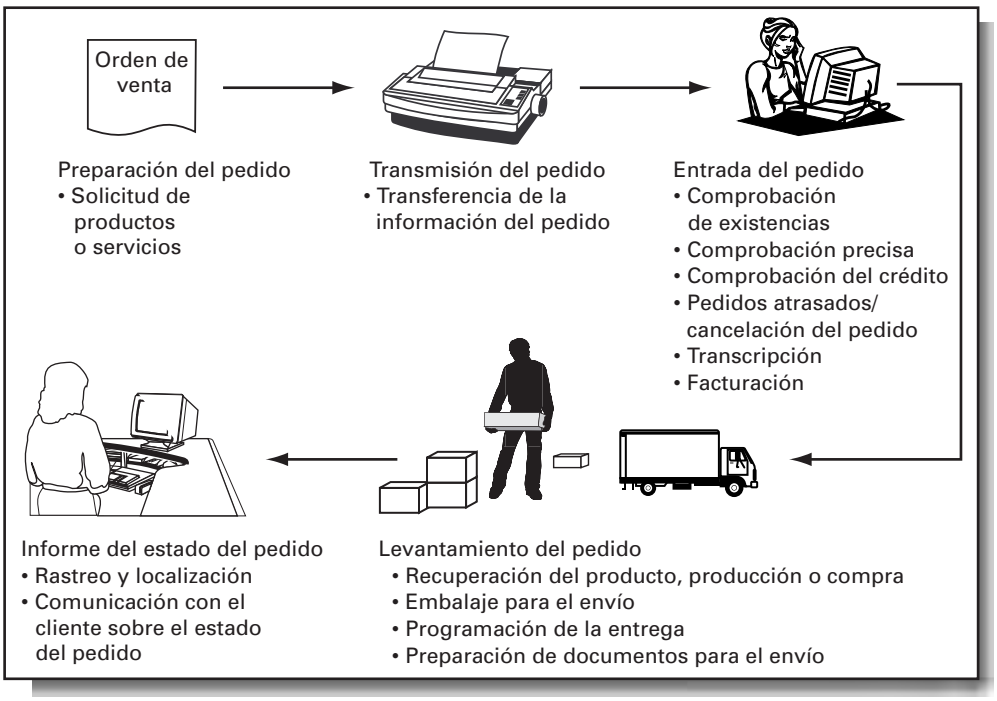


Figura 5-1 Elementos típicos del procesamiento del pedido.

candidatos para ser solicitados de esta manera, pero con el tiempo los productos de alta ingeniería también se pedirán en esa forma.

- Algunos pedidos de compras industriales son generados directamente en la computadora de la compañía, a menudo en respuesta a niveles reducidos de inventario. Al conectar las computadoras del comprador y del vendedor mediante la tecnología de intercambio electrónico de datos (EDI, *electronic data interchange),* las transacciones sin papeles se realizan con menores costos de preparación de pedidos, a la vez que se reducen los tiempos de reaprovisionamiento de pedidos.

La tecnología está eliminando la necesidad de llenar manualmente los formularios de pedidos. Las computadoras con voz activada y codificación inalámbrica de información de productos, denominadas sistemas de radiofrecuencia e identificación (RF/ID), son nuevas tecnologías que reducirán aún más el tiempo en la fase de preparación del pedido dentro del ciclo del pedido del cliente.

Transmisión del pedido

Después de la preparación del pedido, la transmisión de la información del mismo es la siguiente actividad dentro del ciclo de su procesamiento. Incluye transferir la solicitud del pedido, desde su punto de origen hasta el lugar donde pueda manejarse su entrada. La transmisión del pedido se realiza de dos maneras fundamentales: manual y electrónica. La transmisión manual puede incluir el envío por correo de los pedidos o que el personal de ventas los lleve físicamente hasta el punto de entrada del pedido.

La transmisión electrónica de pedidos es ahora muy popular debido al amplio uso de los números de teléfono gratuitos, los teléfonos de datos, las páginas Web, el sistema EDI, las máquinas de fax y las comunicaciones por satélite. Esta transmisión de información de pedidos casi instantánea, con su alto grado de confiabilidad y precisión, creciente seguridad y costos cada vez más reducidos, casi ha reemplazado a los métodos manuales de transmisión de pedidos.

El tiempo requerido para mover la información del pedido en el sistema de procesamiento puede variar de manera importante, dependiendo de los métodos elegidos. Los métodos más lentos tal vez sean la recopilación por parte del personal de ventas y la entrega de pedidos, así como la transmisión por correo. Las transferencias electrónicas de información en sus diversas formas, como telefónica, de intercambio electrónico de datos y comunicación por satélite son las más rápidas. Velocidad, confiabilidad y precisión son características del desempeño que deberían equilibrarse frente al costo de cualquier equipo y su operación. Aquí el reto es determinar los efectos del desempeño en los ingresos.

Observación

Actualmente, las compañías debaten sobre si deberían usar EDI o Internet como método preferido para manejar la transmisión de pedidos. EDI es el más antiguo de los dos y se refiere a un vínculo electrónico dedicado entre las computadoras de los compradores y los vendedores. Es una comunicación segura, pero requiere cierto equipo y acceso a líneas dedicadas de transmisión. Los costos de transmisión pueden ascender a $0.025 por cada 1,000 caracteres enviados. En contraste, Internet es una plaza pública ampliamente disponible y de bajo costo, que usa la red estándar del sistema telefónico. Aunque está mejorando, la seguridad puede ser un problema, y debería ser la misma en ambos extremos de la transmisión. No hay estándares para Internet como los hay para EDI. La entrega del mensaje no está garantizada, y puede ser más larga que para EDI debido a que los protocolos para enrutar los mensajes causan retrasos. Sin embargo, el modesto costo para la comunicación por Internet proviene de requerir sólo una llamada telefónica local y los servicios de un proveedor de servicio de Internet, lo que puede ser tan bajo como $10 mensuales. En forma comparativa, muchas compañías han mantenido, e incluso expandido, el uso de EDI en vista de la proliferación del uso de Internet. Sin embargo, como la tecnología de Internet mejora y la seguridad ya no es un problema, las comunicaciones a través de EDI e Internet se combinarán y llegarán a ser indistinguibles.[3]

Entrada del pedido

La entrada del pedido se refiere a las muchas tareas que tienen lugar antes de efectuar el levantamiento real del pedido. Estas incluyen: 1) comprobación de la precisión de la información del pedido, como descripción del artículo y número, cantidad y precio; 2) comprobación de la disponibilidad de los artículos solicitados; 3) preparación de la documentación de órdenes atrasadas o de cancelaciones, si fuera necesario; 4) comprobación del estado de crédito de los clientes; 5) transcripción de la información del pedido según sea ne-

[3] Stuart Sawabini, "EDI and the Internet", *Journal of Business Strategy* (enero-febrero de 2001), págs. 41-43; "EDI Delivers for USPS", *Traffic World* (11 de enero de 1999), pág. 36; Tom Andel, "EDI Meets Internet. Now What?" *Transportation & Distribution* (junio de 1998), págs. 32-34, 38 en adelante; y Curt Harler, "Logistics on the Internet: Freeway or Dead End?" *Transportation & Distribution* (abril de 1996), págs. 46-48.

Características	Método de ingreso de datos	
	Ingreso con el teclado	Código de barras
Rapidez[a]	6 segundos	0.3 a 2 segundos
Tasa de error de sustitución	1 carácter de error por cada 300 caracteres ingresados	1 carácter de error entre 15 mil a 36 billones de caracteres ingresados
Costos de codificación	Altos	Bajos
Costos de lectura	Bajos	Bajos
Ventajas	Humanas	Baja tasa de error
		Bajo costo
		Alta velocidad
		Puede leerse a cierta distancia
Desventajas	Humanas	Requiere educación de la comunidad de usuarios
	Altos costos	Costos de equipos
	Alta tasa de error	Tratar con imágenes perdidas o dañadas
	Baja velocidad	

[a] La comparación de velocidad supone la codificación de un campo de 12 caracteres.
Fuente: Basado en Craig Harmon, "Bar Code Technology As a Data Communications Medium", *Proceedings of the Council of Logistics Management*, Vol. I (St. Louis: 27-30 de octubre de 1985), pág. 322.

Tabla 5-1 Comparación de técnicas de ingreso de datos

cesario, y 6) facturación. Estas tareas son necesarias porque la información que se solicita del pedido no siempre está en la forma adecuada para seguir procesándola, puede no estar representada con precisión o se puede requerir trabajo adicional de preparación antes que el pedido pueda ser liberado para levantarlo. La entrada del pedido puede ejecutarse manualmente completando estas tareas, o los pasos pueden ser totalmente automatizados.

La entrada del pedido se ha beneficiado mucho con las mejoras tecnológicas. Códigos de barras, lectores ópticos y computadoras han incrementado sustancialmente la productividad de esta actividad. El código de barras y sus lectores tienen especial importancia para ingresar la información del pedido con precisión, rapidez y bajo costo. En comparación con la introducción de datos mediante el teclado de una computadora, el lector óptico (escáner) del código de barras ofrece mejoras significativas (véase tabla 5-1). Esto tal vez explique la creciente popularidad del código de barras en todas las industrias minoristas, manufactureras y de servicio.

Observación

El código de barras ha sido clave para controlar los costos de compra y de inventario en grandes compañías, como Wal-Mart y Home Depot. Por otra parte, en la industria médica, donde la reducción de costos es una preocupación prioritaria y donde se gastan $83 mil millones anuales en suministros quirúrgicos y médicos, sólo la mitad de los suministros médicos están codificados con barras. Se estima que se podrían eliminarse $11 mil millones mediante mejores prácticas en la cadena de suministros.

Gigantes del cuidado de la salud, como Columbia/HCA Healthcare y Kaiser Permanente no han sido líderes en el código de barras. Esta distinción recae en St. Alexius Medical Center. Antes de que St. Alexius instalara sus primeros escáneres hace un decenio,

no podía contabilizar hasta 20% de sus costos de suministro. Esa cifra ha descendido hasta 1% en algunos departamentos, y los costos de inventario han caído radicalmente 48%, lo que equivale a un total de $2.2 millones en los últimos cuatro años.[4]

Las computadoras también se están usando en grado creciente en la actividad de entrada del pedido. Están reemplazando, con procedimientos más automatizados, tanto la comprobación manual de existencias y de crédito, como las actividades de transcripción. Como resultado, completar ahora la entrada de los pedidos toma sólo una fracción del tiempo que tomaba hace unos pocos años.

El tiempo del ciclo del pedido se afecta mediante la carga del sistema de procesamiento y levantamiento de pedidos, el método de recopilación de pedidos, las restricciones en el tamaño del pedido, y el momento adecuado de la entrada del pedido. El diseño del pedido debe estar coordinado cercanamente con la toma de los pedidos por parte de ventas. Por ejemplo, un procedimiento de entrada del pedido podría tener personal de ventas recolectando pedidos a la vez que comprueba la clientela. Las reglas de la entrada de los pedidos pueden requerir que un vendedor reúna el equivalente en volumen a una carga de camión antes de que el pedido continúe hacia el punto de procesamiento. En forma alternativa, los procedimientos debieran ajustarse donde el cliente llena un formulario estándar de pedido que tiene que enviarse por correo en una fecha determinada para garantizar que dicho pedido sea entregado en una fecha concreta. Además, podría imponerse la restricción de aceptar sólo unos tamaños mínimos de pedidos. Esto aseguraría que no se incurriera en costos de transporte muy altos, en especial si la empresa proveedora paga el flete. El sistema revisado de entrada de pedidos podría liberar a los vendedores de las actividades que no fueran de ventas, permitiendo así que los pedidos de una gran zona se consolidaran para trazar rutas más eficientes de transporte, y mejorar así los patrones de levantamiento y selección de pedidos en las instalaciones de existencias.

La entrada del pedido debería incluir los métodos que se usan para introducir la orden de ventas en el sistema de información de pedidos. Las opciones podrían estar en un rango que fuese desde la transmisión no electrónica de la información del pedido, hasta el análisis electrónico (por computadora) de la información del pedido para facilitar el levantamiento y el procesamiento.

Surtido del pedido

El surtido del pedido se representa por las actividades físicas requeridas para: 1) adquirir los artículos mediante la recuperación de existencias, la producción, o la compra; 2) empacar los artículos para el envío; 3) programar el envío para su entrega, y 4) preparar la documentación del envío. Algunas de estas actividades pueden tener lugar en forma paralela con las de la entrada del pedido, lo que abrevia los tiempos de procesamiento.

Manejar las prioridades del surtido del pedido y de los procedimientos asociados afecta al tiempo total del ciclo del pedido en pedidos individuales. A menudo, las empresas no han establecido ninguna regla formal por la cual los pedidos tengan que introducirse y manejarse durante las etapas iniciales del surtido del pedido. Una compañía experimentaba retrasos significativos para levantar pedidos de clientes importantes cuando los encargados de los pedidos, durante las épocas de mucho trabajo, manejaban los me-

[4] Hospital Cost Cutters Push Use of Scanners to Track Inventories", *Wall Street Journal,* 10 de junio de 1997, pág. 1 en adelante.

nos complicados primero. Las prioridades al procesar pedidos pueden afectar la rapidez con la que todos los pedidos se procesan o la velocidad con la que se manejan los más importantes. Algunas reglas alternativas de prioridad podrían ser las siguientes:

1. Primero en ser recibido, primero en ser procesado (orden de antigüedad).
2. Tiempo más corto de procesamiento.
3. Número especificado de prioridad.
4. Primero los pedidos más pequeños, menos complicados.
5. Fecha de entrega prometida más próxima.
6. Pedidos que tengan el menor tiempo antes de la fecha prometida de entrega.

La selección de una regla en particular depende de criterios, como el de equidad para todos los clientes, importancia diferenciada entre los pedidos y rapidez general de procesamiento que pueda alcanzarse.

El proceso de surtido, bien sea desde las existencias disponibles o desde producción, añade tiempo al ciclo del pedido en proporción directa con el tiempo requerido para el surtido del pedido, el empaque o la producción. A veces, el tiempo del ciclo del pedido se extiende por el procesamiento de pedidos parciales o por consolidación del flete.

Cuando el producto no está disponible inmediatamente para su surtido, puede ocurrir un pedido parcial. Para productos en inventario hay una probabilidad razonablemente alta de que ocurra un surtido incompleto del pedido, incluso cuando los niveles de inventario sean relativamente altos. Por ejemplo, si un pedido contiene cinco artículos, cada uno de los cuales tiene probabilidad de 0.90 de estar en existencia, la probabilidad de surtido del pedido completo (FR) es

$$FR = (.90)(.90)(.90)(.90)(.90) = 0.59, \text{ o } 59\%$$

Por lo tanto, llenar parcialmente el pedido desde una fuente de respaldo del producto es más probable de lo que podríamos pensar en primera instancia. Como resultado, serán necesarios tiempo y procesamiento adicionales en el procedimiento del pedido para completarlo.

Las entregas parciales y una gran parte de tiempo adicional en el manejo de la información del pedido pueden evitarse simplemente reteniendo el pedido hasta que esté disponible el reaprovisionamiento de existencias de artículos agotados. Esto puede afectar de manera negativa el servicio al cliente hasta el punto de ser inaceptable. Por lo tanto, un problema de toma de decisiones sería comparar los costos adicionales por el aumento en el manejo de la información del pedido y los costos de transporte, con los beneficios de mantener el nivel de servicio deseado.

La decisión de retener pedidos en vez de llenarlos y enviarlos inmediatamente para consolidar el peso del pedido en cargas mayores, pero de costos unitarios de transporte más bajos, requiere de procedimientos más elaborados del procesamiento de pedidos. Un incremento en la complejidad es una de las consecuencias, ya que estos procedimientos deben estar ligados a la programación de entrega para lograr una mejora general en el procesamiento de los pedidos y en la eficiencia en la entrega.

Informe sobre el estado del pedido

Esta actividad final del procesamiento del pedido asegura que se suministre un buen servicio al cliente, manteniéndolo informado de cualquier retraso en el procesamiento del pedido o en su entrega. Esto, específicamente, incluye: 1) rastreo y localización del pedido en todo el ciclo; 2) comunicación con los clientes sobre dónde puede estar el pedido

dentro del ciclo y cuándo puede ser entregado. Esta actividad de seguimiento no afecta al tiempo general para procesar el pedido.

Observación

La tecnología ha jugado un papel importante en el informe del estado del pedido. Las compañías como FedEx y UPS han sido líderes en la posibilidad de informar a los clientes dónde se encuentran sus envíos en cualquier punto entre el origen y el destino. La codificación de barras con lectura láser, una red mundial de computadoras, y un software especialmente diseñado, son los elementos tecnológicos clave que dirigen sus sistemas de rastreo. Los sistemas de información son tan sofisticados que pueden indicar quién recibió el envío, cuándo y dónde. Además del apoyo telefónico, los remitentes, conociendo sólo el número del envío, pueden incluso rastrear sus envíos, tanto a nivel nacional como internacional, a través de Internet.

Dell Computer usa y extiende esta tecnología para rastrear el pedido de una computadora desde el momento de la entrada del pedido hasta que es recibida por el cliente. Las típicas etapas del proceso son la verificación del pedido y la comprobación de crédito, el tiempo de espera de los componentes, la fabricación, las etapas para que el transportista recoja el pedido y los pasos de enrutamiento en el proceso de entrega. Los clientes, conociendo sus números de pedido, pueden comprobar el progreso de su pedido por todo el ciclo desde la página Web de la compañía o llamando, con un número telefónico gratuito, a un centro de servicio al cliente.

Ejemplos de procesamiento de pedidos

Hasta aquí se han identificado las actividades generales implicadas en el procesamiento del pedido, pero por sí solas no indican cómo funciona el procesamiento del pedido como un sistema. Tales sistemas se ilustran mediante ejemplos de diferentes escenarios.

Procesamiento de un pedido industrial

Un sistema manual de procesamiento del pedido es el que tiene un alto componente de actividad humana en todo el sistema. Algunos aspectos del procesamiento de pedidos pueden estar automatizados o manejados electrónicamente, pero la actividad manual representará la mayor parte del ciclo de procesamiento del pedido. Considere cómo un fabricante que vende a clientes industriales diseñó su sistema de procesamiento de pedidos.

Ejemplo

Samson-Packard Company produce una línea completa de empalmes para mangueras a medida, válvulas y mangueras de alta resistencia para uso industrial. La compañía procesa un promedio de 50 pedidos por día. La parte del tiempo correspondiente al procesamiento de pedidos (incluida dentro del tiempo total del ciclo del pedido) es de 4 a 8 días entre los 15 a 25 días que comprende el ciclo total. El tiempo total del ciclo del pedido es largo, porque los pedidos son fabricados según las especificaciones de los clientes. Los pasos principales en el ciclo del procesamiento del pedido, excluyendo la actividad de surtido del pedido, son los siguientes:

1. Las peticiones de los clientes se introducen en el sistema de procesamiento de pedidos de dos maneras: primero, el personal de ventas recoge los pedidos y los manda

por correo o por teléfono a las oficinas centrales de la compañía. O, segundo, los clientes toman la iniciativa a la hora de hacer sus pedidos y lo hacen directamente por correo o por teléfono a las oficinas centrales. La naturaleza personalizada de la mayor parte de los pedidos de los clientes impide hacer el pedido a través de la página Web de la compañía. La conexión por intercambio electrónico de datos (EDI) con la mayoría de los clientes no se encuentra disponible.

2. Una vez recibidos los pedidos vía telefónica, un recepcionista de servicio al cliente transcribe el pedido en un formulario abreviado de pedido. Además de los pedidos recibidos por correo, los pedidos acumulados para un día determinado se pasan al representante senior de servicio al cliente, el cual luego ajusta la información para el gerente de ventas.
3. El gerente de ventas revisa la información del pedido para estar al tanto de las actividades de ventas. También, de vez en cuando escribe notas de instrucciones en un pedido sobre las necesidades de un cliente en particular.
4. Después, los pedidos se envían a los empleados que preparan los pedidos, que transcriben la información de los mismos, además de las instrucciones especiales, en el formulario estándar de pedidos de Samson-Packard.
5. En este punto, los pedidos se envían también al departamento de contabilidad para comprobación del crédito. Luego se remiten al departamento de ventas para la verificación de los precios.
6. Después, el departamento de procesamiento de pedidos introduce la información del pedido en la computadora, la cual se usará para transmitirlo a la planta, para su manejo de la manera más conveniente, y para facilitar su rastreo una vez que esté en proceso.
7. Finalmente, el representante senior de servicio al cliente comprueba el pedido en su forma final y lo transmite electrónicamente a la planta adecuada. En el mismo proceso, se prepara un comprobante de pedido para el cliente que le es enviado por correo electrónico como verificación del pedido.

Procesamiento de un pedido al menudeo

Compañías como los minoristas, que operan como intermediarios entre vendedores y compradores, con frecuencia diseñan sus sistemas de procesamiento de pedidos al menos con un grado moderado de automatización. Normalmente no es necesario un tiempo muy rápido de respuesta del pedido, dado que hay inventarios disponibles para los consumidores finales. Estos inventarios actúan como amortiguador ante los efectos indirectos del reaprovisionamiento del ciclo del pedido. Sin embargo, son importantes los tiempos de reaprovisionamiento del ciclo del pedido que ayudan a mantener una programación fija de reaprovisionamiento.

Los sistemas modernos de información han otorgado el beneficio de reemplazar muchos de los activos que antes se necesitaban para llevar un negocio. Mediante Internet, las compañías han podido reducir el espacio de almacenaje, bajar los niveles de inventarios, reducir los tiempos de manejo y rastrear mejor el progreso de los pedidos. Considere cómo funciona un sistema de distribución sin almacenamiento, es decir, de entrega directa al cliente.

Ejemplo

Los distribuidores de bienes terminados pueden usar EDI para crear un sistema de distribución directo desde el proveedor. El producto no necesita permanecer en el almacén del distribuidor o en sus anaqueles. Los clientes reciben sus bienes directo del proveedor. Co-

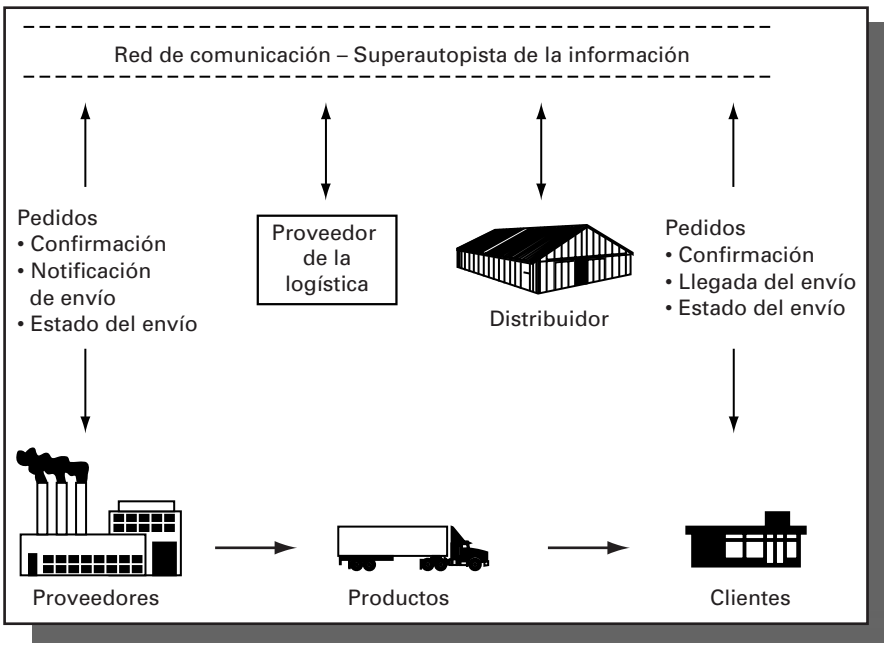


Figura 5-2 Distribución directa al cliente utilizando Internet.

mo se muestra en la figura 5-2, la información del pedido y los productos fluyen a través de la cadena de suministros de la siguiente manera:

1. Los clientes comunican al distribuidor, vía EDI, cuántos y cuáles productos quieren, y dónde.
2. El distribuidor comunica a los proveedores, vía EDI, cuántos y cuáles productos deben ser enviados.
3. El distribuidor comunica al encargado de la logística, vía EDI, dónde recoger el producto y cuántos.
4. El distribuidor comunica al proveedor de la logística, vía EDI, cuántos y cuáles productos tienen que distribuirse, dónde y cuándo.
5. Los proveedores preparan el producto para el envío.
6. El proveedor de la logística recopila, clasifica y separa el producto según las especificaciones del distribuidor.
7. El proveedor de la logística distribuye los productos a los clientes.[5]

Procesamiento de un pedido del cliente

Los sistemas de procesamiento de pedidos que se diseñan para interactuar directamente con los consumidores finales se basarán en niveles elevados de servicio al cliente. Cumplir los requerimientos del producto del cliente a partir de las existencias al menudeo suministra casi instantáneamente el procesamiento del pedido. McDonald's ha construido un

[5]Información de http://www.skyway.com

negocio muy exitoso de franquicias de comida sobre procesamiento rápido de pedidos. La rápida respuesta a los requerimientos de pedidos del cliente a menudo ha sido el filo cortante del servicio al cliente para muchas compañías que venden al consumidor final, especialmente cuando los productos implicados son altamente sustituibles. Como muestra el siguiente ejemplo, algunas compañías pueden suministrar rápidamente una respuesta a los pedidos de los clientes incluso cuando su lugar de negocio está a cierta distancia de los clientes, los cuales podrían adquirir los mismos productos en sus tiendas minoristas locales.

Ejemplo

Han surgido muchas tiendas remotas de descuento de hardware y software como competidoras de las tiendas minoristas locales. Tradicionalmente, los clientes irían a sus tiendas minoristas locales de computadoras y comprarían lo que necesitaran allí mismo, o si no lo tuvieran en existencia en ese momento, los minoristas pedirían los artículos a los distribuidores locales.

Las tiendas de suministros de computadoras, localizadas en cualquier lugar del país, pueden ofrecer a los clientes bajos precios, los cuales resultan de los bajos costos generales y de las economías de compra. Sin embargo, es importante superar las desventajas de la ubicación si estas casas de descuento han de tener verdadero éxito. Muchas han desarrollado una estrategia para reducir el tiempo del ciclo del pedido, el cual normalmente incluye los siguientes pasos en la cadena de actividades del procesamiento de pedidos.

1. Un cliente llama para hacer un pedido usando un número de teléfono gratuito o lo hace a través de la página Web de la compañía. El correo también es una opción, pero incrementa sustancialmente el tiempo de transmisión del pedido.
2. La persona que toma el pedido teclea los requerimientos en una terminal de computadora, o el mismo cliente ya los introdujo electrónicamente en el momento de efectuar el pedido. La disponibilidad de los artículos en el inventario se comprueba inmediatamente desde los registros computarizados del mismo; se hallan o se calculan los precios, y se consideran los cargos del pedido. Si el método de pago es con tarjeta de crédito, se lleva a cabo electrónicamente una comprobación del crédito de la tarjeta.
3. El requerimiento del pedido se transmite por vía electrónica al almacén para el surtido, normalmente dentro del mismo día en que se recibe el pedido.
4. Normalmente, el pedido se envía usando UPS, FedEx u otra compañía de mensajería, directo al hogar o negocio del cliente. La entrega de un día para otro puede hacerse mediante un cargo extra, si así lo solicita el cliente.

A menudo, el resultado es un tiempo total más rápido del ciclo del pedido *y* a un precio menor de lo que los minoristas locales pueden ofrecer.

El comercio electrónico, alguna vez practicado sólo por unas cuantas empresas, como Wal-Mart, General Motors y Baxter International, ahora está llegando a ser una realidad para muchas compañías. Según se resuelven los temas de seguridad en Internet, éste llega a ser una fuerza impulsora para eliminar mucho papeleo a fin de procesar un pedido, el cual ocurre cuando una empresa vende a otra (negocio a negocio, B2B, *business to business*). El comercio electrónico puede reducir el costo de procesamiento de una orden de compra en 80%. La figura 5-3 representa cómo puede funcionar un sistema de procesamiento de pedidos sin papeles, usando Internet como el punto de entrada del pedido.

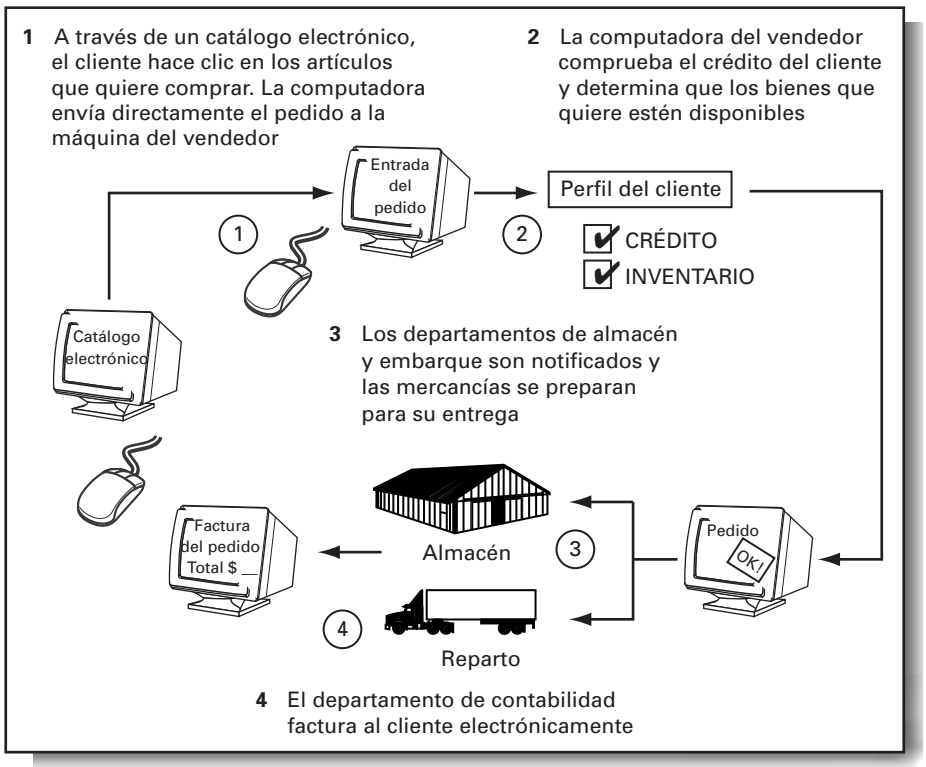


Figura 5-3 Comercio electrónico a través de Internet.

Fuente: "Invoice? What's an Invoice?", *Business Week*, 10 de junio de 1996, pág. 110 en adelante.

Ejemplo

Con su propia experiencia en computadoras y un Intranet de alta velocidad, MIT tiene uno de los sistemas de compra más sofisticados del mundo. Su personal puede pedir lápices y tubos de ensayo haciendo clic en su catálogo de la página Web, el cual asegura que nadie gaste más de lo que tiene autorizado. Los pagos se manejan con tarjetas de compra mediante American Express. Y MIT ha contratado con dos proveedores principales (Office Depot, Inc., y VWR Corp., la entrega de los artículos dentro del mismo día o dos días más tarde, directo en el escritorio del comprador y no en el depósito del edificio.[6]

Planeación del pedido basado en la Web

El bajo costo de iniciar y operar una página Web en Internet la convierte en una forma atractiva para que múltiples partes se comuniquen unas con otras. La Web puede usarse efectivamente para planear flujos de pedidos a través del canal de suministros. Esto es en contraste con la planeación tradicional de suministros, donde se hace una previsión de de-

[6] "Invoice? What's an Invoice?", *Business Week,* 10 de junio de 1996, pág. 112.

manda del producto, se determina un tamaño eficiente del pedido, éste se transmite a un proveedor para su reaprovisionamiento, y después de un plazo de entrega, se reaprovisionan los inventarios, a partir de lo cual puede atenderse la demanda. Cada miembro del canal de suministros (comprador, proveedor, transportista, etc.) a menudo opera en forma independiente suministrando sólo una parte de la información requerida para administrar el flujo del producto y responder a los requerimientos inmediatos, como el surtido del pedido, su transporte, o la estimación de la demanda. Si se integra Internet al proceso general de planeación, los miembros del canal pueden comunicarse fácilmente unos con otros, compartir información relevante en tiempo real, y responder rápido y a menudo en forma eficiente a la demanda de los envíos, a la insuficiencia de materiales, a los retrasos en el transporte y a las imprecisiones en el surtido de los pedidos. El estado del pedido es transparente, dado que todos los miembros del canal pueden compartir una base de datos común, lo que facilita el rastreo y la expedición. El acceso a bajo costo a Internet anima la comunicación entre los compañeros del canal, lo que, además de eso favorece la coordinación dentro del canal, llevando a menores costos de pedido y a mejorar el servicio al cliente.

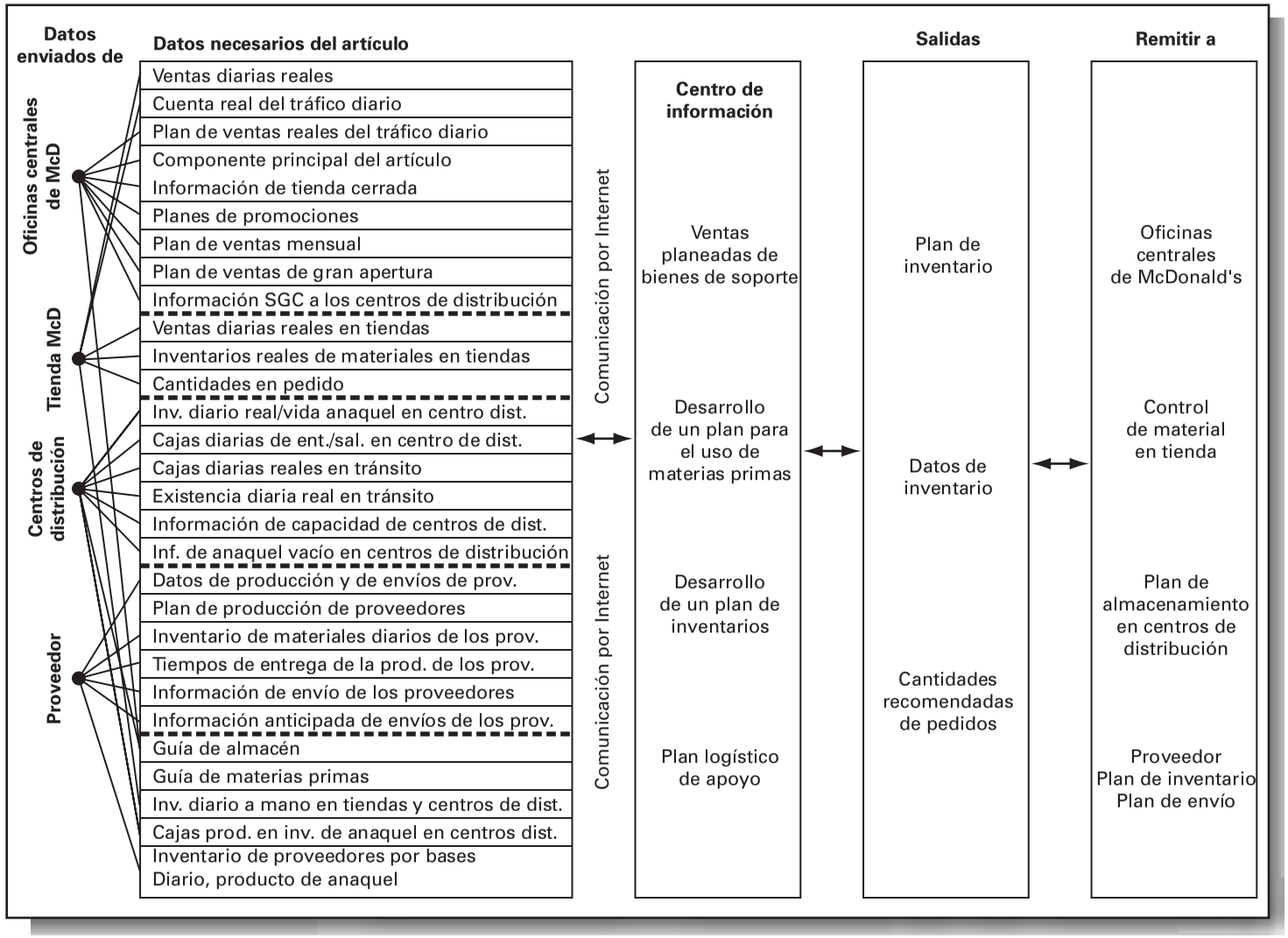
El siguiente ejemplo sobre McDonald's, Japón, es específico para un modelo de negocio más formalizado al que se refiere como *CPFR*®, que son las siglas en inglés de *planeación*, *estimación* y *reaprovisionamiento en colaboración*. Bajo el suministro *CPFR*, los miembros del canal de suministros comparten información y coadministran los importantes procesos del negocio en sus cadenas de suministro. Mediante la integración de los procesos del lado de la demanda y del suministro, *CPFR* mejorará la eficiencia, incrementará las ventas, reducirá los activos fijos y el capital de trabajo, y reducirá el inventario para la totalidad de la cadena de suministros, y al mismo tiempo llenará las necesidades de los clientes. *CPFR* promueve una visión holista de la administración de la cadena de suministros. Los impresionantes resultados de los estudios piloto de asociaciones *CPFR* se han manifestado en Wal-Mart, Sara Lee, Branded Apparel, K-Mart, Kimberly Clark, Nabisco, Wegmans Supermarkets, Procter & Gamble, Hewlett Packard y Heineken USA.[7]

Ejemplo

McDonald's, Japón, opera 3,800 restaurantes, con ventas anuales de casi $3,300 billones. Más de 3 millones de clientes visitan los restaurantes cada día. Hay una sustancial competencia, no sólo de los otros restaurantes de hamburguesas, sino también de las tiendas de sushi y ramen (fideos), así como de otros lugares de venta de sandwiches. El resultado es una presión a la baja en los precios y la puesta en marcha de muchas promociones. Los métodos de pronóstico tradicionales no funcionan bien. McDonald's, Japón, tenía exceso y carencia de inventarios, altos costos de envío debido a que los tamaños de pedidos despachados resultaban poco económicos, frecuentes cambios de pedidos y cantidades ineficaces de compra que eran resultado de una pobre estimación de una demanda altamente variable a nivel de tienda. Como alternativa para la estimación de demanda en tienda, McDonald's, Japón, estableció un centro de información construido alrededor de Internet, en donde las tiendas, oficinas centrales (marketing), centros de distribución y proveedores se comunicarían y colaborarían a través de la página Web de la compañía para acordar cantidades de ventas esperadas, tamaños de pedidos y programación para el reparto de suministros.

[7] Información encontrada en www.cpfr.org, y en Sam Dickey, "Forecasting and Ordering System Rides the Net", *Midrange Systems,* Vol. 10, Núm. 1 (17 de enero de 1997), pág. 40.

Figura 5-4 Procesamiento de pedidos basado en la Web de McDonald's, Japón, donde los requerimientos de datos y la planeación de pedidos trascienden los límites de los miembros del canal.



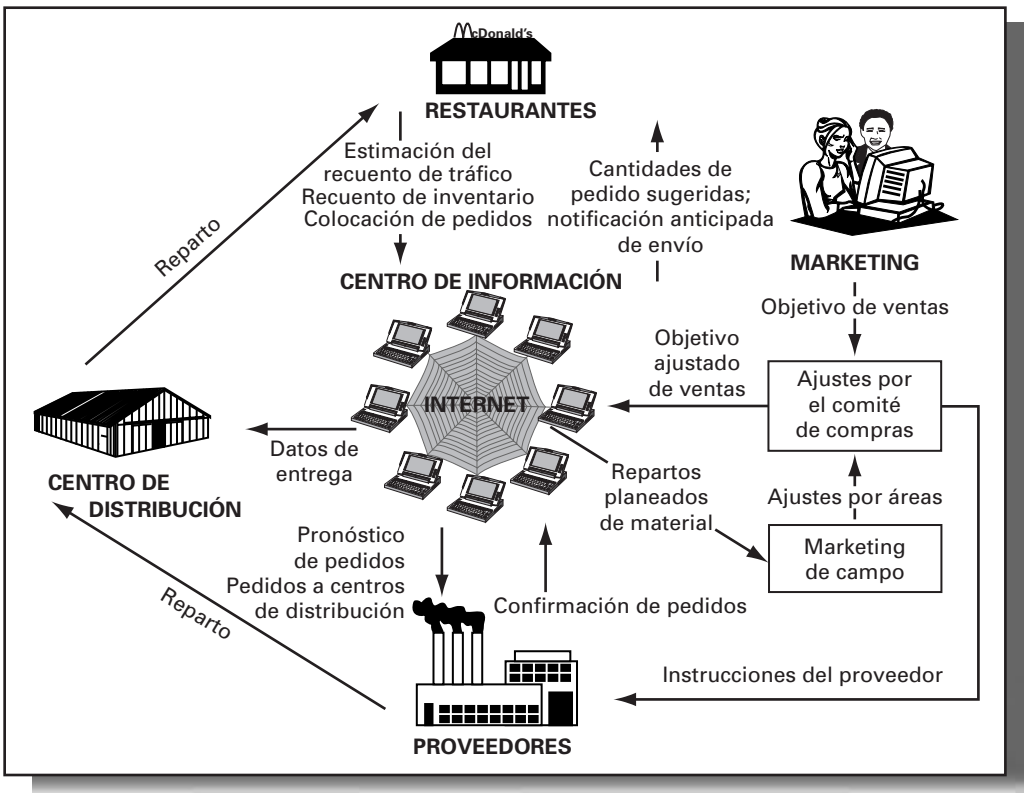


Figura 5-5 Planeación de pedidos basada en la Web de McDonald's, Japón.

Cada miembro del canal comparte información para hacer que todo el sistema opere de manera continua y eficiente. Como se muestra en la figura 5-4, las tiendas suministran estimaciones iniciales de las cuentas de los clientes así como de sus ventas reales, niveles presentes de inventario, y cantidades del pedido. Los centros de distribución conocen las cantidades en tránsito, las cantidades en mano, la información de desocupación de anaquel, y similares. Los proveedores suministran información concerniente a la programación y horarios de producción, programación de envíos, y capacidades. Finalmente, la división de marketing de McDonald's ofrece el plan de ventas, los tiempos de promociones, las expansiones y clausuras de tiendas, y similares. El centro de información actúa como eje para la toma de decisiones, según se muestra en la figura 5-5.

El centro de información mantiene los servidores de Internet y ayuda con la planeación central de cantidades de pedidos y la habilidad de despacharlos a tiempo. Sin embargo, la comunicación en línea entre todas las partes permite la rápida respuesta ante los cambios inesperados, tanto en la demanda como en el suministro, o ante demandas y suministros que son inherentemente tan variables que deben contarse incertidumbres con altos niveles de inventarios. Este sistema de petición basado en la Web permite a los proveedores y a los centros de distribución responder rápida y eficientemente a las necesidades de las tiendas. Los gerentes de las tiendas pueden modificar sus pedidos en tiempo real hasta una fecha límite, con el resultado de que

McDonald's, Japón, ha sido capaz de alcanzar una reducción de 50% en el número de envíos a restaurantes y de 20% de reducción en los inventarios de restaurantes. Esto también puede significar que los costos de producción del proveedor han bajado también. La mejor comunicación en tiempo real y la continuidad del flujo del producto en la cadena de suministros han sido clave para estas mejoras.

Otros factores que afectan el tiempo de procesamiento del pedido

La selección del hardware y de los sistemas de procesamiento de los pedidos representan sólo una parte de las consideraciones del diseño. Puede haber numerosos factores que agilizan o retrasan el tiempo de procesamiento. Estos factores son resultado de los procedimientos de operación, de las políticas de servicio al cliente y de las prácticas del transporte.

Prioridades del procesamiento

Algunas empresas pueden otorgar prioridades a su lista de clientes como una manera de distribuir los recursos limitados de tiempo, capacidad y esfuerzo a favor de las órdenes más beneficiosas. Haciéndolo así, alterarán los tiempos de procesamiento de los pedidos. A los pedidos de alta prioridad pueden darles procesamiento preferente, en tanto que los pedidos de baja prioridad pueden guardarse para procesamiento posterior. En otras empresas, los pedidos suelen procesarse en el orden en que se reciben. Aunque la forma mencionada en segundo lugar puede parecer justa para todos los clientes, no necesariamente es así. Puede provocar tiempos de procesamiento más largos, en promedio, para todos los clientes de una misma clase. Aunque no estén establecidas las prioridades para el procesamiento de pedidos, las reglas tácitas siempre estarán en vigor y pueden afectar negativamente los tiempos de procesamiento de pedidos.

Ejemplo

Un fabricante de papel no había establecido prioridades en el procesamiento de los pedidos de bolsas y papel para envolver que le solicitaban las cadenas de comida; sin embargo, había prioridad implícita en el procesamiento de pedidos. Cuando el plazo de procesamiento era muy corto, los empleados de los pedidos procesaban primero los más pequeños y sencillos. Los pedidos más grandes, que por lo regular eran los más rentables, quedaban relegados a procesamiento posterior.

Procesamiento paralelo *versus* secuencial

En algunos casos, los tiempos de procesamiento pueden reducirse en forma significativa ordenando con cuidado las tareas del procesamiento de pedidos. Los tiempos más largos de procesamiento pueden alcanzarse cuando todas las tareas se completan en una secuencia. Si se llevan a cabo algunas tareas simultáneamente, el tiempo total de procesamiento puede reducirse. Véase de nuevo la ilustración de la Samson-Packard Company,

donde todas las tareas de procesamiento de pedidos se condujeron *secuencialmente*. Con el simple cambio de hacer múltiples copias de un pedido, de manera que el gerente de ventas pudiera revisar una copia, mientras en otro lado se realizan las actividades de transcripción y comprobación de crédito, se reduciría de alguna manera el tiempo de procesamiento del pedido (procesamiento *paralelo).*

Precisión en el surtido del pedido

Si se puede completar el ciclo de procesamiento del pedido sin tener errores en el requerimiento del pedido de un cliente, es probable que se minimice el tiempo de procesamiento. Tal vez ocurran algunos errores, pero su número debería ser cuidadosamente controlado si el tiempo de procesamiento del pedido es una consideración prioritaria en la operación de la compañía.

Acumulación de pedidos

Reunir pedidos de múltiples clientes en grupos para realizar un procesamiento por acumulación puede reducir los costos de procesamiento del pedido. Por otra parte, retener pedidos hasta alcanzar el tamaño de un lote quizás añada más tiempo al procesamiento, en especial para aquellos pedidos que entraron primero en el lote.

Tamaño del lote

El pedido de un cliente puede ser demasiado grande para surtirlo de inmediato de las existencias disponibles. En vez de esperar a que esté completamente surtido, pueden prepararse y enviarse pequeños lotes del pedido total. En vez de esperar a que se complete el pedido, el cliente lo recibe parcialmente y dispone antes de una parte del producto ordenado. Aunque se puede mejorar el tiempo de procesamiento para parte del pedido, los costos de transporte tal vez serán más altos debido al envío de pedidos de menor tamaño.

Consolidación del embarque

Muy parecido a la acumulación de pedidos, éstos pueden retenerse para crear un tamaño de envío económico. Consolidar algunos pedidos pequeños para construir un volumen más grande de envío reduce los costos de transporte. El tiempo de procesamiento puede incrementarse para que el costo de transporte pueda descender.

Sistema logístico de información

Un sistema logístico de información puede describirse en términos de su funcionalidad y de su operación interna.

Función

El propósito principal de reunir, retener y manipular datos dentro de una empresa es la toma de decisiones, desde las estratégicas hasta las operativas, y facilitar las transacciones del negocio. Mayor espacio en la memoria de las computadoras, computadoras más rápidas, acceso cada vez mayor a la información de toda la organización mediante siste-

mas de información empresarial (como SAP, Oracle, Baan, PeopleSoft y J. D. Edwards) y las plataformas mejoradas para la transmisión de información, como EDI e Internet, han creado para las empresas la oportunidad de compartir información de manera conveniente y barata por toda la cadena de suministros. Gracias al beneficio de suministrar información a tiempo y de manera comprensible dentro de la empresa, así como a los beneficios de compartir información adecuada entre otros miembros del canal, ahora son posibles operaciones logísticas más eficientes. Esto ha llevado a las compañías a pensar en la información con propósitos logísticos como un sistema logístico de información.

Un sistema logístico de información (LIS, por sus siglas en inglés) puede representarse como se muestra en la figura 5-6. El LIS debería ser lo suficientemente comprensible y capaz como para permitir la comunicación, no sólo entre las áreas funcionales de la empresa (marketing, producción, finanzas, logística, etc.), sino también entre los miembros de la cadena de suministros (vendedores y clientes). Compartir información seleccionada sobre ventas, envíos, programas de producción, disponibilidad de existencias, estado del pedido y similares, con vendedores y compradores, tiene el valor de reducir las incertidumbres por toda la cadena de suministros, con lo que los usuarios encuentran maneras de beneficiarse de la disponibilidad de información. Por supuesto, seguirá habiendo renuencia a compartir abiertamente información de naturaleza secreta que pueda comprometer la posición competitiva de una empresa. Incluso, aunque se han reconocido los beneficios de compartir información entre las fronteras empresariales, es probable que haya un límite sobre cuánta información están dispuestas a compartir las empresas con otros fuera de su control.

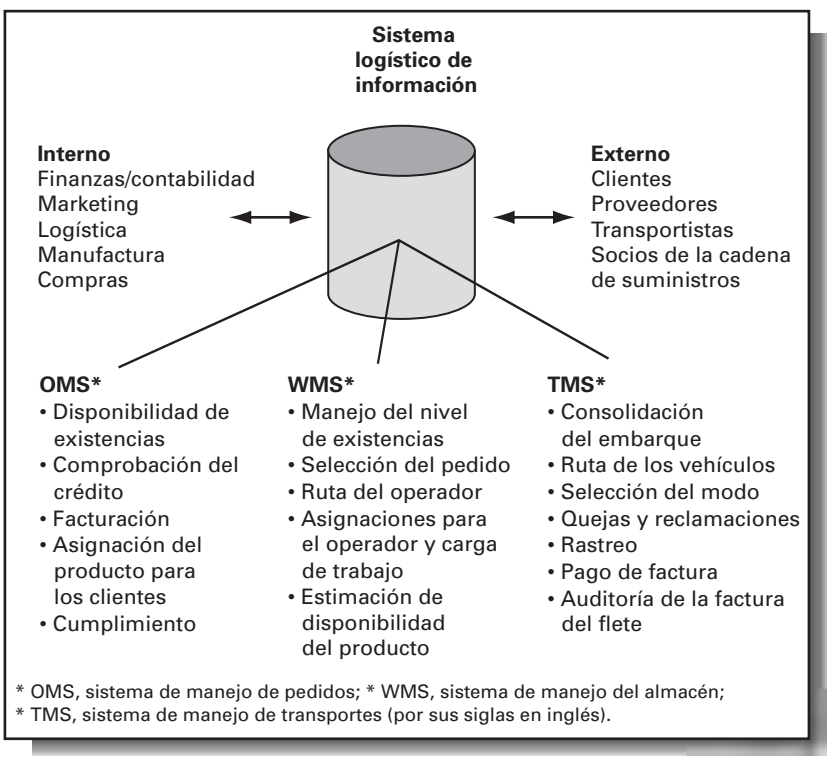


Figura 5-6 Vista general del sistema logístico de información.

Dentro del LIS, los subsistemas importantes son: 1) un sistema de manejo de pedidos (OMS); 2) un sistema de manejo del almacén (WMS), y 3) un sistema de manejo de transportes (TMS). Cada uno contiene información para propósitos de transacción, pero también son herramientas de apoyo para la toma de decisiones que ayudan a planear una actividad en particular. La información fluye entre ellos, así como entre el LIS y los otros sistemas de información de la empresa, para crear un sistema integrado. Los sistemas de información se expresan típicamente en forma de paquetes de software para computadoras.

Sistema de manejo de pedidos

El subsistema de manejo de pedidos (OMS) dirige el contacto inicial con el cliente en el momento de preguntar por el producto y hacer el pedido. Es el sistema frontal del LIS. El OMS se comunica con el sistema de administración del almacén para comprobar la disponibilidad del producto, bien desde los inventarios, bien desde los programas de producción. Esto da información sobre la ubicación del producto en la red de suministros, la cantidad disponible y tal vez el tiempo estimado de entrega. Una vez que la disponibilidad del producto es aceptable para el cliente, puede darse una comprobación de crédito, para lo cual el OMS se comunica con el sistema de información financiera de la compañía con el fin de comprobar la situación del cliente y verificar la categoría del crédito. Una vez que el pedido es aceptado, el OMS asignará el producto al pedido del cliente, le dará una ubicación de producción, lo disminuirá del inventario, y cuando el envío haya sido confirmado, preparará una factura.

El OMS no permanece aislado de los otros sistemas de información de la empresa. Para que el cliente sea atendido eficientemente, la información debe compartirse. Por ejemplo, si el OMS tiene que rastrear un pedido, el sistema de manejo de transportes será interrogado. Es esencial la compatibilidad de la comunicación.

Debería notarse que aunque el comentario se ha enfocado en los pedidos que recibe una empresa, hay un OMS parecido para los pedidos de compra colocados por la compañía. Considerando que un OMS basado en el cliente mantendrá los datos orientados alrededor de los clientes de la compañía, el OMS basado en las compras se concentrará en los proveedores de la empresa, mostrando sus tasas de desempeño en la entrega, costos y términos de venta, capacidades, disponibilidades y fuerza financiera. Hay seguimiento constante de los proveedores y se preparan informes que ayudan a optimizar la selección de los proveedores.

Sistema de manejo del almacén

El sistema de manejo de almacén (WMS) puede contener el OMS, o tratarse de una entidad separada dentro del LIS. El WMS tiene al menos que ligarse de nuevo al OMS para que el departamento de ventas sepa qué productos hay disponibles para la venta. Es un subsistema de información que ayuda en el manejo del flujo del producto y en las instalaciones de la red logística. Los elementos clave pueden identificarse como: 1) recepción; 2) salvaguarda; 3) manejo de inventarios; 4) procesamiento y recuperación del pedido, y 5) preparación del envío. Todos estos elementos aparecerán en el WMS de un almacén típico de distribución, pero algunos pueden no aparecer en almacenes utilizados principalmente para almacenamiento a largo plazo o en aquellos que tienen un coeficiente de rotación muy alto.

Recepción. Es la entrada o "punto de registro" para información dentro del WMS. El producto es descargado por el transportista en el punto de descarga de entrada del almacén e identificado por código de producto y cantidad. Los datos sobre el producto se introducen

en el WMS usando lectores de código de barras, terminales de comunicación de datos de radiofrecuencia (RF) o teclados manuales. El peso, volumen y configuración del paquete del producto se conocen comparando el código del producto con el archivo interno del mismo.

Salvaguarda. El producto entrante necesita ser almacenado temporalmente en el almacén. El WMS retiene la disposición de espacio dentro del edificio y el inventario almacenado en cada ubicación. Basado en el espacio disponible y en las reglas de disposición de inventarios, el WMS asigna al producto entrante una ubicación específica para posterior recuperación. Si tienen que almacenarse múltiples productos en diversas ubicaciones en el mismo viaje, el WMS puede especificar la secuencia de salvaguarda y la ruta a seguir para minimizar el tiempo de recorrido. El nivel de existencias en cada ubicación afectada se incrementa y el registro de ubicación del inventario se ajusta.

Manejo de inventario. El WMS vigila los niveles del producto en cada ubicación de existencias en el almacén. Si los niveles de inventario están por debajo del control local del almacén, entonces se sugieren las cantidades de reaprovisionamiento y su tiempo de entrega según reglas específicas. La petición de reaprovisionamiento se transmite al departamento de compras o directo a los proveedores o plantas de la compañía mediante EDI o Internet.

Procesamiento y recuperación de pedidos. Planear para la recuperación de existencias en el almacén, es decir, tomar los artículos requeridos en un pedido, es quizás el aspecto más valioso del WMS. La recuperación de existencias es la operación más intensa en mano de obra, y normalmente la parte más costosa de las operaciones del almacén.

Una vez recibido un pedido, el WMS, con sus normas internas de decisión, descompondrá el pedido en grupos de artículos que requieran diferentes tipos de procedimiento y selección. Los artículos se agruparán según la ubicación donde se almacenen en el inventario. Algunos requieren acomodarse en pequeñas cantidades en cajas abiertas, en tanto que otros se acomodan en cajas completas o en tarimas. Otros, incluso, pueden tomarse de áreas separadas y aseguradas del almacén. Cada área tiene diferentes características de acomodo, a tal punto que es ineficaz acomodar simplemente todo el pedido en un solo paso por el almacén. El WMS divide el pedido con buen juicio para tomar los artículos eficientemente y programa el flujo del pedido a través de las diferentes áreas del almacén, de manera que los artículos lleguen a la plataforma de envío como un pedido completo y en la secuencia adecuada, junto con otros pedidos para que puedan ser cargados en un camión o vagón para su reparto.

Además, el WMS subdivide los artículos dentro de un área de recuperación de pedidos entre los distintos operadores encargados de acomodar los pedidos para equilibrar su trabajo de carga. Luego, los artículos asignados a un trabajador en particular se ordenan para su recolección con el fin de minimizar la distancia recorrida, la flexión y la fatiga, y el tiempo de recuperación o recolección.

Preparación del embarque. Los pedidos a menudo son surtidos en oleadas por el almacén; esto significa que de todos los pedidos, un subconjunto se procesará en cierto momento. El tamaño de este subconjunto de pedidos, y los pedidos incluidos en él son seleccionados basándose en las consideraciones de envío. Los pedidos para los clientes localizados en una misma área son surtidos simultáneamente para que lleguen al mismo tiempo a la plataforma de embarque y al camión. Los estimados se hacen según volumen y peso de los múltiples pedidos de los clientes, para ser colocados en un camión, contene-

dor o vagón. La codificación con colores de las mercancías que fluyen desde las diferentes áreas del almacén ayuda a reunir la mercancía común a un pedido y ordenarla dentro del vehículo de reparto para una ruta más eficiente. En caso de mercancía al menudeo, se pueden fijar las etiquetas de los precios para que los artículos puedan ser colocados en los anaqueles de los minoristas sin mayor manipulación.

En general, el WMS ayuda a manejar las operaciones del almacén mediante la planeación de mano de obra, del nivel de inventarios, de la utilización del espacio y de la ruta de recolección o surtido. El WMS comparte información con el OMS y el TMS para lograr un desempeño integrado.

Ejemplo

Una gran cadena farmacéutica recibe semanalmente varios cientos de pedidos de sus tiendas minoristas, o casi 50 pedidos al día, en un almacén en particular. Un almacén local suministra la mercancía general a las tiendas. Los productos farmacéuticos son suministrados desde un almacén central. Una vez recibidos los pedidos en las oficinas generales de la compañía, éstos se dividen en las dos categorías de productos. Primero se llenan los pedidos farmacéuticos y se envían al almacén local para ser fusionados con la parte de mercancía general del pedido que va a la misma tienda. Luego, en el almacén local, los pedidos se dividen una vez más en artículos que se seleccionan por cajas parciales, cajas llenas, en garantía (asegurado) y áreas de volumen. Dado que 8,000 de los 12,000 artículos almacenados aquí requieren recuperación desde áreas de cajas parciales, es esencial un buen manejo en esta área de intenso trabajo personal. Para esto, la parte de los artículos en el área de recuperación de cajas parciales se subdivide otra vez para cada surtidor de pedidos. El operador procesa sólo aquellos artículos de su zona inmediata. La secuencia de recolección de los artículos está establecida en las reglas de ruta dentro del sistema de manejo del almacén.

El WMS controla el tiempo para empezar la recolección en todas las áreas del almacén, de tal manera que los elementos del pedido lleguen a la plataforma de embarque aproximadamente al mismo tiempo. Se colocan etiquetas de identificación en los cartones y cajas para que el pedido completo pueda unirse en la plataforma de embarque para cargarlo en un camión de reparto que, finalmente, contendrá unos cinco pedidos de distintas tiendas.

Cada vez que se recibe mercancía para reaprovisionamiento de existencias de los proveedores, la información sobre los productos entrantes se introduce entonces en el WMS, que asigna entonces al producto las ubicaciones de almacenamiento y mantiene un registro de la edad del producto para controlar la secuencia de recolección del mismo.

Sistema de manejo del transporte

El sistema de manejo del transporte (TMS) se enfoca en el transporte de llegada y de salida de una empresa y es parte integral del LIS, como se muestra en la figura 5-6. Igual que el WMS, comparte información con otros componentes del LIS, como contenido de los pedidos, peso y volumen del artículo, cantidad, fecha prometida de entrega y programación de envío del vendedor. Su propósito es ayudar en la planeación y control de la actividad de transporte de la empresa. Esto implica: 1) selección del método; 2) consolidación del flete; 3) ruta y programación de envíos; 4) procesamiento de quejas; 5) rastreo de envíos y 6) información y pago de la facturación del flete. Puede ser que el TMS de una empresa en particular no contenga todos estos elementos. Cada actividad será comentada a

la luz de las solicitudes de información y por la ayuda que presta en la toma de decisiones suministrada por el TMS.

Selección de la modalidad. Muchas empresas transportan productos en múltiples tamaños de envío, lo que hace que se tengan que considerar múltiples servicios de flete. Las opciones de servicio de transporte típicamente van desde carga aérea y transportistas terrestres de paquetes, hasta movimientos de contenedores oceánicos y carga ferroviaria. El TMS puede hacer coincidir el tamaño del envío con el costo del servicio del transporte y los requerimientos de desempeño, en especial donde haya opciones de la competencia. Un buen TMS almacenará datos de modalidades múltiples, tarifas de flete, tiempos esperados de envío, disponibilidad de la modalidad y frecuencia de los servicios, y sugerirá el mejor transportista para cada envío.

Consolidación del flete. Una función muy valiosa del TMS consiste en sugerir los patrones para consolidar pequeños envíos dentro de otros más grandes. Dado que una característica principal de las tarifas de flete es que los costos unitarios de envío descienden en forma desproporcionada a como aumenta el tamaño del envío, la consolidación del envío puede suponer ahorros sustanciales en los costos de transporte, especialmente cuando los tamaños de los envíos son pequeños. El TMS puede seguir con atención y en tiempo real los tamaños del envío, destinos y fechas prometidas de entrega. A partir de esta información y usando las reglas de decisión internas, pueden formarse cargas económicas a la vez que se consideran los objetivos de servicio de entrega.

Ruta y programación de embarques. Cuando una empresa posee o arrienda una flota de vehículos, se requiere cuidadoso manejo para asegurar que la flota sea operada eficientemente. Con la información de los pedidos del OMS y la del procesamiento de pedidos desde el WMS, el TMS asigna cargas a los vehículos y sugiere la secuencia en la que el vehículo debe realizar las paradas. Deberá considerarse el momento oportuno durante el cual pueden hacerse paradas, la recolección de mercancía devuelta desde los puntos de parada, la planeación para cargas de regreso, las restricciones para el conductor sobre la distancia de manejo, así como las pausas de descanso, y la utilización de la flota durante múltiples periodos. EL TMS mantiene datos de las ubicaciones de parada; tipo de vehículo, número y capacidad; tiempos de parada para carga y descarga, momentos oportunos y otras restricciones de la ruta. Con esta información de referencia, los envíos que hay que efectuar en un periodo real se planean usando las reglas de decisión o algoritmos implantados en el TMS.

Procesamiento de quejas. Es inevitable que algunos envíos se dañen durante el transporte. Si se mantiene información del contenido del envío, valor del producto, transportista, origen y destino, y límites de responsabilidad legal, muchas quejas pueden procesarse automáticamente o con un mínimo de intervención humana.

Rastreo de envíos. La tecnología del sistema de información ha jugado un papel importante al rastrear el progreso de los envíos una vez que ya han sido transferidos a los transportistas. Los códigos de barras, la radiotransmisión en ruta, los sistemas de posicionamiento global y las computadoras a bordo son elementos clave del sistema de información que permiten conocer la localización de los envíos en tiempo real. El rastreo de información desde el TMS puede, entonces, ser posible para los receptores de los envíos a través de Internet u otros medios electrónicos. Incluso pueden calcularse estimaciones de tiempos de llegada.

Los transportistas de pequeños envíos, como DHL, Airborne Express, FedEx y UPS están a la vanguardia en el desarrollo de dicho sistema de información, dado que lo que ellos venden es satisfacción al cliente. A menudo se promete el servicio garantizado de entrega, y un sistema sofisticado de rastreo de envíos ayuda a realizar este objetivo.

Aplicación

Federal Express codifica con barras cada documento enviado con un número único para fácil y rápida identificación de un paquete durante su viaje. El código de barras es escaneado en el punto de entrada al sistema de reparto, en la selección, durante el reparto y en el punto de destino. Instaladas en los camiones de reparto hay pequeñas computadoras que aceptan comunicaciones por radio. Esto permite dirigir a los camiones en sus rutas para efectuar la recepción y la entrega, además de servir como punto de entrada de los datos de la información sobre la ubicación de los envíos y de los camiones. El agente de reparto lleva un escáner en la mano que lee el número del envío en el momento de la recolección o de la entrega. El aparato de escáner, con su información codificada, puede ser conectado a la computadora a bordo del camión y ser leída en la base de datos del sistema de información de transporte de la compañía.

La comunicación vía satélite y los sistemas de posicionamiento global representan lo último en tecnología para ser integrada en los sistemas de rastreo. En los sistemas justo a tiempo, donde la incertidumbre en las llegadas de los envíos pueden causar serias consecuencias para las operaciones de producción, se están utilizando los satélites de navegación para identificar la ubicación exacta de los envíos por camión, según se mueven por los canales de distribución y para mantener la comunicación en tiempo real con los conductores, con el fin de informar pausas y retrasos, y para estimar los tiempos de llegada.

Aplicación

Una compañía de camiones de alquiler está usando ahora comunicación móvil por satélite de dos vías y un sistema de informe de posición para seguimiento de la ubicación de sus camiones, con el fin de mejorar el desempeño de los programas justo a tiempo. El núcleo del sistema es una pequeña computadora en el camión que puede comunicarse con un satélite de navegación. El satélite puede fijar la ubicación geográfica exacta del camión en cualquier sitio en el que se encuentre. Se pueden intercambiar mensajes entre los conductores y las oficinas centrales sin necesidad de comunicación telefónica.

Auditoría y pago de la factura del flete. Determinar los cargos de flete para envíos puede ser complicado debido a las muchas excepciones que pueden tener lugar en las tarifas de flete. Dado que los transportistas cargan sólo la tarifa más baja aplicable, cuando ocurre un error de categoría, el remitente puede quejarse del transportista por la diferencia entre los cargos reales y los cargos más bajos. Es responsabilidad del remitente (la parte que compra el servicio de transporte) auditar las facturas de flete para hallar esos errores y solicitar un reembolso por parte del transportista. La auditoria de una factura de flete puede ser una actividad de intensa labor debido al gran número de rutas y combinaciones de clasificaciones. El TMS basado en la computadora puede buscar rápidamente el mínimo costo de ruta y comparar el costo con el que aparece en la factura del flete.

El pago de la factura del flete también puede facilitarse gracias al TMS. Más que usar el TMS como ayudante en la toma de decisiones, el pago de facturas es una actividad transaccional. Aquí el TMS registra que el envío se ha efectuado y solicita al sistema de información financiera de la compañía que ejecute el pago al transportista, a menudo electrónicamente.

Sólo puede suministrarse una descripción limitada del LIS y sus componentes, dado que las características varían con las necesidades de una aplicación en particular. Por ejemplo, algunos sistemas de almacenamiento pueden incluir control de radiofrecuencia de todas las tareas, estándares y medidas de desempeño, cuenta del ciclo de existencias y programación del muelle, por nombrar unas pocas. El TMS podría incluir selección de la modalidad, selección de la ruta de los vehículos con carga completa y medición del desempeño de los transportistas. Sin embargo, algunas de las capacidades fundamentales del LIS que se han comentado ilustran cómo la tecnología de la información está teniendo un impacto en la planeación y control de las operaciones.

Operación interna

Desde el punto de vista de la operación interna, un sistema logístico puede representarse esquemáticamente, como se muestra en la figura 5-7. Nótense tres elementos distintos que conforman el sistema: 1) la entrada, 2) la base de datos y su manipulación relacionada, y 3) la salida. En la figura 5-8 se subrayan un poco más los elementos de datos del sistema.

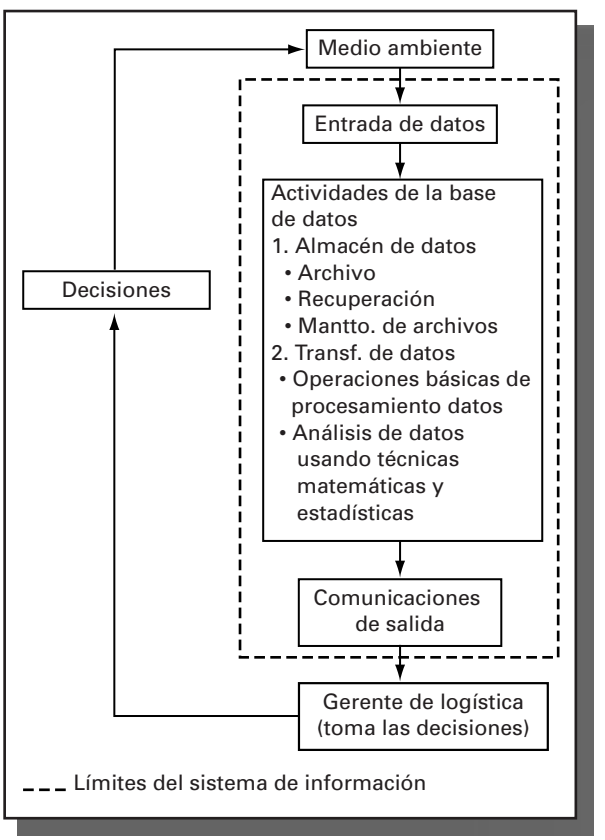


Figura 5-7
Componentes de operación del sistema logístico de información.

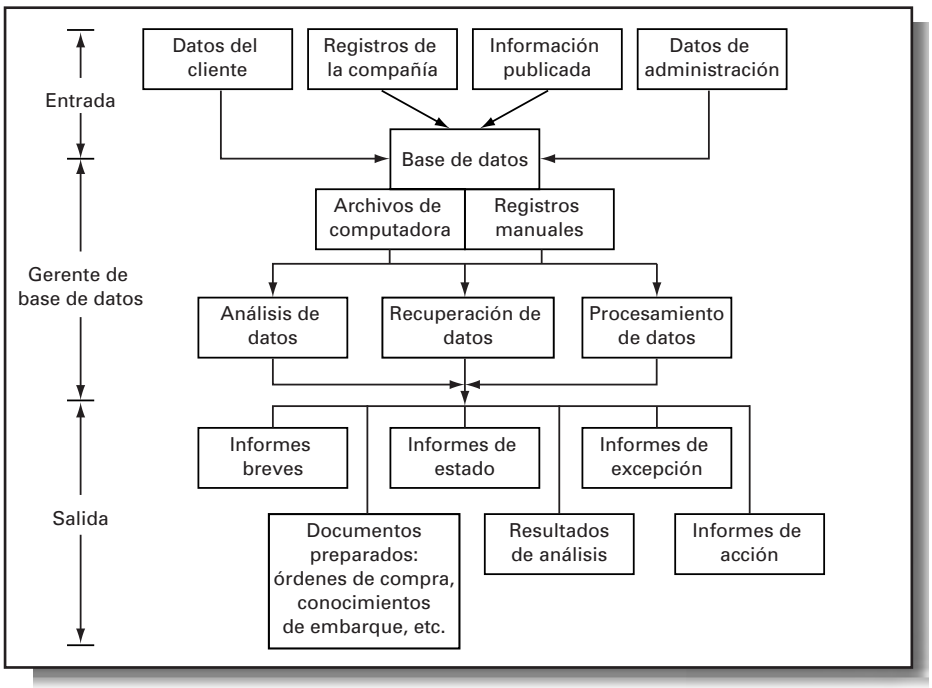


Figura 5-8 Presentación detallada del sistema logístico de información.

La entrada

La primera actividad relacionada con el sistema de información es la adquisición de los datos que ayudarán en el proceso de toma de decisiones. Después de identificar cuidadosamente los datos necesarios para planear y operar el sistema logístico, los datos pueden obtenerse de muchas fuentes, en especial: 1) clientes; 2) registros de la compañía; 3) datos publicados, y 4) administración. Los clientes, a través de sus actividades de ventas, suministran indirectamente muchos datos útiles para la planeación. Durante la entrada del pedido, se capturan datos que son útiles para las decisiones de estimación y operación, como volumen de ventas, y su elección en el momento oportuno, ubicación de las ventas y tamaño del pedido. De forma similar, los datos sobre los tamaños de envíos y los costos de transporte se obtienen de los repartos hechos a los clientes. Las facturas de flete, órdenes de compra y facturas son fuentes adicionales de este tipo de datos primarios.

Los registros de la compañía, en la forma de informes de contabilidad, informes de estado, informes de estudios internos y externos, y diferentes informes de operaciones, suministran gran riqueza de datos. Normalmente, los datos de estos informes no están organizados de manera significativa para propósitos logísticos de la toma de decisiones. Los datos seleccionados se capturan en el sistema de información para manejarse en una etapa posterior.

Los datos publicados de fuentes externas representan una fuente única de información. Muchos datos están disponibles por investigaciones realizadas por el gobierno, investigaciones realizadas por asociaciones de comercio, intercambio de datos mediante Internet y EDI, y proveedores que suministrarán datos valiosos sólo por la buena voluntad que genera tal participación. Los diarios profesionales y las revistas de comercio son

ejemplos adicionales. Este tipo de datos externos tiende a ser más amplio y más generalizado que los datos generados en forma interna.

El personal de la compañía también puede ser una valiosa fuente de datos. Las predicciones de futuros niveles de ventas, acciones de la competencia y la disponibilidad de materiales comprados son sólo unos cuantos ejemplos. Este tipo de datos no se mantienen en los archivos de la compañía, los registros de las computadoras ni las bibliotecas, tanto como en la mente de las personas. El personal de la compañía, como gerentes, consultores y planificadores internos, así como especialistas en actividades, están cerca de las fuentes de datos y llegan a ser buenas fuentes de datos en sí mismos.

Observación

La computadora ha traído nuevas fuentes de datos anteriormente no disponibles, y ha llevado a la mejora significativa de las operaciones. Sears, Roebuck & Co. es un minorista importante de aparatos grandes para el hogar, de los cuales efectúa casi 4 millones de repartos anualmente. Dado que los clientes pueden comprar tales bienes una vez cada 10 ó 15 años, los patrones de reparto rara vez se repiten. Históricamente, el personal de Sears hacía corresponder manualmente las direcciones de los clientes con los códigos geográficos. Por ejemplo, para Ontario, California, el proceso tomaría dos horas con una "tasa de aciertos" de 55%. Usando un software de correspondencias de direcciones, el proceso toma ahora 20 minutos con una "tasa de aciertos" de casi 90 por ciento.[8]

Manejo de la base de datos

Convertir datos en información, representarlos gráficamente en forma útil para la toma de decisiones, y entrecruzar la información con métodos de ayuda en la toma de decisiones, son considerados a menudo como el corazón de un sistema de información. El manejo de la base de datos implica la selección de los datos que van a almacenarse y recuperarse, la elección de los métodos de análisis que se van a incluir y la elección de los procedimientos básicos de procesamiento de los datos que se van a poner en práctica.

Después de determinar el contenido de la base de datos, el primer tema para su diseño es decidir qué datos deberán mantenerse en la forma tradicional de copia fotostática, los datos que van a ser conservados en la memoria de la computadora para rápido acceso y los datos que no se van a conservar en ninguna base regular. El mantenimiento de datos puede ser costoso y su conservación en cualquier forma debería basarse en: 1) qué tan importante o crítica es la información para la toma de decisiones; 2) la rapidez de recuperación de la información; 3) la frecuencia de acceso a los datos, y 4) el esfuerzo requerido para manejar los datos en la forma debida. La información necesaria para una planeación estratégica poco frecuente, a menudo no requiere acceso inmediato. La información para planeación de operaciones más frecuentes tiene exactamente las características opuestas. Un empleado de tráfico que pide información sobre una tarifa de flete a partir de los registros almacenados en la computadora, o el representante de servicio al cliente que comprueba el estado de un pedido mediante el sistema de rastreo de pedidos de la compañía, aprovecha cada uno la ventaja de estas capacidades de almacenamiento básico y de recuperación en línea en tiempo real del sistema de información.

El procesamiento de datos es una de las características más antiguas y más populares de un sistema de información. Cuando las computadoras fueron introducidas por primera

[8] "Logistics and Distribution Moves Toward 21st Century", *ARC News,* Vol. 18, Núm. 2 (verano de 1996), págs. 1-2.

vez en la comunidad de los negocios, su propósito era reducir las cargas de efectuar los cálculos de las facturas para miles de clientes y preparar los registros de la contabilidad. Ahora, la preparación de órdenes de compra, conocimientos de embarque y facturas de flete es una actividad común del procesamiento de datos para ayudar al encargado de la logística a planear y controlar el flujo de materiales. Las actividades de procesamiento de datos, o de transacciones, representan una conversión relativamente sencilla y directa de los datos de los archivos en un tipo de forma más útil. Esta actividad de transacción fue la característica dominante de los sistemas de software de ERP (por sus siglas en inglés, planeación empresarial de recursos), como SAP, i2, Oracle y otros tan populares en las compañías durante el decenio pasado.

El análisis de datos es el sistema más moderno y sofisticado de información. El sistema puede contener cualquier número de modelos matemáticos y estadísticos, tanto generales como específicos para los problemas logísticos particulares de la empresa. Tales modelos convierten la información en soluciones a los problemas, suministrando apoyo para la toma de decisiones. Planear la ruta de surtido en un almacén con alto coeficiente de rotación de inventarios, asignar las rutas de los camiones de reparto, y ubicar clientes para los almacenes y las plantas son ejemplos de decisiones que pueden ser ayudadas por las herramientas matemáticas inmersas dentro del sistema de información. Lo que comenzó como sistemas básicamente de transacción, los sistemas de software de ERP, están ahora añadiendo módulos de apoyo para la toma de decisiones con el fin de aumentar sus capacidades.

La salida

El elemento final del sistema de información es el segmento de salida. Esta es la zona de conexión, o interfaz, con el usuario del sistema. La salida por lo general es de varios tipos y es transmitida de diferentes formas. Primero, la salida más obvia es algún tipo de informe, como: 1) informes breves de costos o estadísticas de desempeño, 2) informes de estado de inventarios o progreso de pedidos, 3) informes de excepción que comparan el desempeño deseado con el real, 4) informes (órdenes de compra o de producción) que inician la acción. Segundo, la salida puede ser en la forma de documentos preparados, como conocimientos de embarque para transportación y facturas de flete. Finalmente, la salida puede ser resultado del análisis de los datos de los modelos estadísticos y matemáticos.

La entrada, la capacidad de administración de la base de datos, y la salida son las características clave de la operación interna del LIS. Además de las capacidades transaccionales básicas, el principal propósito del sistema es ser una herramienta de apoyo para la toma de decisiones de planeación y operación del sistema logístico.

Ejemplos de sistemas de información

En la práctica, los sistemas de información para ayudar en la planeación y operación de la cadena de suministros aparecen en las compañías de diferentes maneras. Algunos ejemplos ayudarán a ilustrarlos.

Sistema de menudeo

Algunas empresas con extensas operaciones minoristas han desarrollado sistemas elaborados de información para agilizar la verificación (mejorar el servicio al cliente) así como para incrementar la eficiencia de existencias y el reaprovisionamiento de muchos artículos típicamente ofrecidos a los clientes (costos más bajos). La alta transacción de volumen, manejado de manera rutinaria, y el alto coeficiente de rotación de inventarios que los mi-

noristas suelen alcanzar, les ha llevado a usar computadoras y la última tecnología de manejo de pedidos para alcanzar sus objetivos.

Aplicación

Un minorista importante de mercancía general vende en casi 1,000 tiendas. El sistema logístico por sí mismo incluye 200,000 artículos, que provienen de casi 20,000 proveedores. La estrategia de la compañía es hacer de cada tienda un centro de utilidades. Esto significa que las decisiones de existencias de casi 40,000 departamentos de mercancía necesitan tomarse en el nivel de tienda. Al mismo tiempo, la compra es centralizada.

El sistema de información, diseñado para apoyar esta filosofía de administración descentralizada, incluye la instalación de registros en tiendas con capacidad de escaneo óptico, y de leer códigos de barras de las etiquetas de las mercancías. Con minicomputadoras en las tiendas y computadoras centrales en ubicaciones más centralizadas, se pueden capturar instantáneamente las actividades de venta de las tiendas. El sistema ofrece una serie de beneficios, incluyendo registros de cobros más rápidos, control óptimo de inventario, comprobación de crédito más rápida, informe instantáneo del estado de existencias y mejor planeación de cantidades de compra y de su capacidad para hacerlo en el tiempo adecuado.

La figura 5-9 es un diagrama esquemático de la operación del sistema. El primer paso es la recepción del producto desde el almacén o el proveedor. Supongamos que el producto es una cafetera. Un emisor automático de etiquetas produce uno que indica el color de la cafetera, así como el precio, número de existencia y número del departamento del empleado. Cuando un cliente toma la cafetera y la lleva a la caja registradora, el empleado escanea la etiqueta con una banda de lectura o teclea la información del producto en el registro.

Si el cliente quiere pagar con tarjeta de crédito, la banda lee un código magnético, y en menos de un segundo comprueba la tarjeta mediante la minicomputadora de la tienda. Los datos de la cafetera se almacenan en la minicomputadora hasta el final del día laboral. Luego, automáticamente se transfieren a uno de los 22 centros regionales de datos de la compañía, donde computadoras centrales más grandes procesan la información. Allí, se carga a la cuenta de crédito del cliente, se introducen las cifras de ventas e impuestos en los registros del departamento de contabilidad, y el registro de la comisión del empleado de ventas se envía al departamento de nóminas.

Los datos de ventas también incluyen la cafetera al sistema de manejo de inventarios del departamento. Si las ventas de cafeteras del día hacen descender el inventario del departamento por debajo de un punto predeterminado, la computadora automáticamente imprime una orden de compra, la cual es enviada al gerente del departamento a la mañana siguiente. Si el gerente decide comprar más cafeteras, mediante el EDI levanta un nuevo pedido al proveedor que lo surtirá.

Al mismo tiempo, los datos de ventas son canalizados mediante el centro regional de datos a una estación central de procesamiento de datos en las oficinas centrales de la compañía, donde se recaba información nacional de venta unitaria.

Inventario manejado por el vendedor/proveedor (VMI, por sus siglas en inglés)

Cuando los minoristas manejaban el inventario, uno de los métodos para el control de inventarios era usar alguna forma del programa de reaprovisionamiento del método del

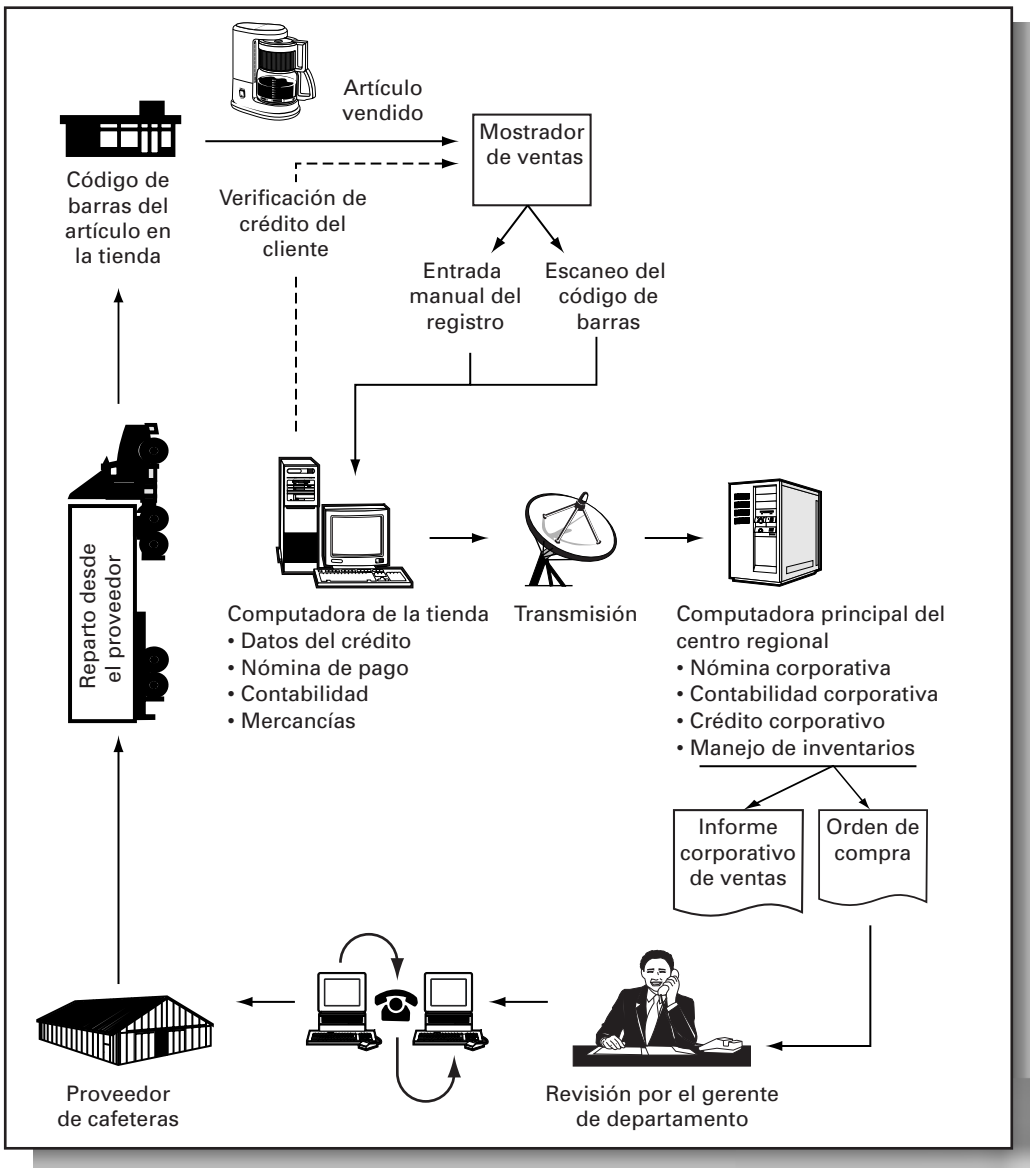


Figura 5-9 Sistema de información para un gran minorista de mercancías.

punto de reorden. Es decir, cuando un artículo en las existencias se reduce al nivel del punto reorden, se envía una orden de compra a un vendedor/proveedor para reaprovisionar el artículo. En dichos sistemas, los minoristas hacen sus propias estimaciones y reglas de control de inventario. De manera alternativa, los minoristas reaprovisionarán en un ciclo fijo (por ejemplo, una vez a la semana) y solicitarán cierta cantidad para llenar un espacio de anaquel designado para un artículo. Según la International Mass Retail As-

sociation, más de 60% de bienes pesados y casi 40% de bienes blandos están bajo programas de reaprovisionamiento administrados por minoristas.[9]

Aunque se espera que continúen los programas de reaprovisionamiento manejados por minoristas, también se espera que haya crecimiento sustancial en los inventarios manejados por el vendedor/proveedor (VMI), es decir, reaprovisionamiento continuo. Con el intercambio electrónico de datos y los datos de punto de venta, los proveedores pueden estar al tanto de lo que hay en el anaquel del minorista tanto como el mismo minorista. Minoristas como Wal-Mart y Toys "Я" Us permiten a los proveedores estar a cargo de sus propios inventarios, decidiendo qué y cuándo despachar. La propiedad del inventario generalmente pasa al minorista una vez que recibe el producto, aunque a algunos minoristas les gustaría alcanzar el punto donde incluso no posean los bienes que se encuentran en sus anaqueles. La creciente disponibilidad de información ha permitido que surjan nuevas alternativas para administrar el flujo de bienes en la cadena de suministros.

Los proveedores requieren que sus clientes les suministren información sobre ventas de productos, niveles actuales de inventario, fechas para recepción de bienes e inventario muerto y devoluciones. La información fluye al proveedor a través de EDI u otra red electrónica, de manera que está actualizado todo el tiempo. Algunas veces los proveedores incurren en costos mayores para VMI, por ejemplo, absorbiendo los costos de transporte, pero sienten que los costos adicionales están cubiertos por el incremento de las ventas, producto del uso de inventarios manejados por el proveedor.

Aplicación

Western Publishing está haciendo trabajo de VMI en sus líneas Golden Book. Western, editor de libros para niños, desarrolla una relación con sus minoristas en las que éstos dan a Western datos del punto de venta. La información de punto de venta suministra al editor datos del inventario que todavía tiene el minorista, el cual es comparado con una cantidad fija de punto de nuevo pedido (reorden). Los niveles de inventario por debajo de ese punto de reorden disparan automáticamente un pedido de reaprovisionamiento. La propiedad del inventario cambia al minorista una vez que el producto es enviado. Compartir información de lo que sucede en el punto de venta es la clave para hacer trabajos de continuo reaprovisionamiento de manera eficiente y en el momento adecuado.

Comercio electrónico

Para muchas compañías, el comercio electrónico, es decir, el que usa Internet para facilitar las transacciones de negocios, es una extensión de la manera tradicional de llevar el negocio de almacenes y tiendas minoristas. En contraste con las compañías que se han iniciado en la Web, las cuales típicamente no poseen infraestructura logística y surten directo de los proveedores usando transporte alquilado, las empresas establecidas tienen inventarios, espacio de almacén, capacidad de transporte y expertos en logística. Con la adición de la página Web para que los clientes hagan sus pedidos, las empresas establecidas pueden agregar e integrar pedidos de la Web con sus operaciones de logística existentes. Otras pueden separar las operaciones de pedidos de la Web de sus operaciones internas, e incluso buscar el apoyo externo de terceras partes de proveedores de logística, y

[9] Tom Andel, "Manage Inventory, Own Information", *Transportation and Distribution* (mayo de 1996), pág. 58.

argumentar que los requerimientos de los clientes son lo suficientemente diferentes para garantizar dicha separación. Sin embargo, pudiera ocurrir que tanto si los pedidos entran por la Web como por el mostrador de ventas, servirlos con logística no mostrará las marcadas diferencias vistas en el pasado, cuando el comercio electrónico era novedoso.

Aplicación

Lowe's, el gran minorista de mejoras para el hogar mediante el "hágalo usted mismo", contrató a NFI Interactive como tercera parte proveedora del servicio de sus clientes en línea cuando comenzó a ofrecer sus productos a través de Internet. NFI usa el software del sistema de manejo de almacén (WMS) de All Points Systems en su almacén de 425,000 pies cuadrados, de Atlanta, Georgia, de los cuales 205,000 pies cuadrados están siendo utilizados por Lowe's para efectuar sus operaciones.

Cada 15 o 20 minutos, los pedidos de la página Web son bajados al WMS. Se activa una reserva de inventario de los artículos solicitados hasta que se verifica el crédito del cliente. A partir de ahí, el sistema elige un método de reparto parcial (FedEx, UPS, menos de una carga de camión, etc.) y los pedidos son enviados a los trabajadores de piso del almacén.

El producto es escaneado dentro y fuera del inventario usando computadoras de mano y montadas en los vehículos. La elección del pedido en el almacén se organiza por grupos, código postal, tamaño del pedido, y fecha u hora de envío. Una vez que los pedidos se han empaquetado, la cajas son llevadas al sistema Quantronix CubiScan para medirlas y pesarlas. Luego se genera la etiqueta de envío apropiada usando las impresoras de Zebra Technologies, y la mercancía se encamina a su destino final.[10]

Sistema de apoyo para la toma de decisiones

El despacho de camiones para reaprovisionar a los proveedores de gasolina en las estaciones de servicio para automóviles es un problema logístico de planeación que puede ayudarse de un sistema de información bien diseñado. Incorporar métodos en el sistema de información que puedan analizar datos, así como organizarlos y presentarlos, puede apoyar al usuario a la hora de tomar importantes decisiones. Los métodos de análisis de datos pueden tomar la forma de procedimientos de optimización. En un sistema de información bien diseñado, el usuario no sólo puede llamar al sistema para solicitar una respuesta inicial al problema de toma de decisiones, sino que también puede interactuar con el sistema para suministrar sus entradas, con el fin de comprender una solución más práctica al problema que la que pueden ofrecer los procedimientos de optimización solos.

Aplicación

Cada día en todo el país, una importante compañía de petróleo hace miles de repartos de combustible de gasolina y diesel. El problema del reparto es diferente cada día cuando cambian la mezcla de clientes, los volúmenes y la mezcla de productos. El uso de un modelo de programación matemática para ayudar a tomar las decisiones de los envíos reduce el número de camiones necesarios para hacer los repartos y el total de kilómetros que recorren.

[10] Rick Gurin, "Lowe's Gets to Know Online Distribution", *Frontline Solutions,* Vol. 2, Núm. 3 (marzo de 2001), pág. 46.

Las entradas de información de pedidos en el TMS no son notables, dado que la velocidad no es crítica en esta aplicación. Una vez que la información del pedido se recibe desde las estaciones de servicio, la información de solicitud del pedido es dirigida a la terminal regional de distribución que llenará el pedido y lo surtirá. Primero se despliega en la pantalla de una computadora del despachador. Éste visualiza los pedidos y separa aquéllos que tienen patrones obvios de reparto debido a grandes volúmenes o a requerimientos especiales de reparto. Después, los pedidos restantes son enviados al modelo de apoyo para las decisiones dentro del TMS. El modelo suministra una ruta y una programación optimizada para cada pedido, así como el camión en el cual debe hacerse la entrega. Finalmente, interactuando con las rutas desplegadas en la pantalla de la computadora, el despachador revisa el programa y lo ajusta si es necesario. Luego, el TMS prepara un programa impreso para cada conductor.

Comentarios finales

Recuérdese que el ciclo del pedido puede definirse como el tiempo transcurrido entre el punto en el que el cliente prepara un pedido y el punto en el que lo recibe. Las actividades del procesamiento del pedido pueden representar la mayor parte del tiempo en el ciclo del pedido. Por lo tanto, es crítico dirigir las actividades de los componentes del procesamiento del pedido total para lograr el nivel de servicio al cliente. Esto quizá sea más esencial, considerando el deseo continuo del cliente de reducir el tiempo total del ciclo del pedido.

Los cinco elementos clave del procesamiento del pedido incluyen: 1) preparación del pedido; 2) transmisión del pedido; 3) entrada del pedido; 4) surtimiento del pedido; 5) reporte del estado del pedido. Los primeros tres elementos han estado particularmente sujetos a los avances tecnológicos, incluyendo el escaneo de código de barras, manejo computarizado de pedidos y comunicación electrónica. Para las empresas que usan dicha tecnología, la preparación, transmisión y entrada de pedidos pueden reducirse a casi una parte insignificante del tiempo total del ciclo del pedido.

El sistema logístico de información puede descomponerse en el sistema de manejo de pedidos (OMS), el sistema de manejo de almacén (WMS) y el sistema de manejo de transportes (TMS). Las decisiones de transacciones y planeación asociadas con cada una por lo general están apoyadas en importantes programas de software que ayudan en gran medida a la toma de decisiones repetitivas requeridas en las operaciones diarias. OMS, WMS y TMS, aunque se enfocan en diferentes aspectos de las operaciones logísticas, se comunican entre sí para un mejor control general de los procesos de logística. Hasta el momento en que la información a tiempo para los gerentes de logística continúe para reemplazar los activos en el negocio, podemos esperar una expansión del alcance y una creciente sofisticación en el diseño de los sistemas de información. Los sistemas logísticos de información muestran los beneficios de la revolución tecnológica de la información.

Preguntas

1. Un fabricante de ropa deportiva para dama y caballero distribuirá sus productos hechos en Hong Kong en mercados de Estados Unidos y Europa. Los principales puntos de venta serán pequeñas tiendas minoristas y algunas tiendas departamentales. Sugiera varios diseños para manejar el procesamiento de los pedidos. ¿Cuáles podrían ser los costos y los beneficios relativos de cada uno?

2. ¿Qué beneficios se obtienen al usar códigos de barras y escáneres para la entrada de pedidos frente a la codificación de teclado en una base de datos de una computadora? ¿Hay alguna desventaja?
3. Revise el ejemplo de la página 137 de Samson-Packard Company, y sugiera cómo podría reducir el tiempo de procesamiento del pedido mediante secuencia de las actividades y el uso de la tecnología.
4. En las siguientes situaciones, indique el efecto del tiempo de procesamiento de pedidos de: 1) procesamiento de prioridades; 2) procesamiento paralelo versus secuencial; 3) precisión en el llenado del pedido; 4) acumulación de pedidos, y 5) consolidación del flete en:
   a. Pacientes que buscan servicio en una clínica médica.
   b. Compra de láminas de acero a un fabricante de acero, para usarlas en la fabricación de la carrocería de automóviles.
   c. Clientes que esperan en las filas a la hora de la comida en los restaurantes McDonald's.
   d. Un supermercado que solicita reaprovisionamiento de existencias para sus almacenes de suministros.
5. Al gerente de logística de un fabricante de aparatos de televisión en Corea del Sur se le ha dado la responsabilidad de montar un sistema logístico de información para su compañía. ¿Cómo contestaría a sus siguientes preguntas?
   a. ¿Qué tipo de información necesito del sistema de información? ¿De dónde la obtendría?
   b. ¿Qué artículos en la base de datos de la información debería retener en la computadora para fácil acceso? ¿Cómo debería manejar el resto?
   c. ¿Qué tipos de problemas de toma de decisiones me ayudarían a manejar el sistema de información?
   d. ¿Qué modelos para análisis de datos serían los más útiles para tratar con estos problemas?
6. Para las siguientes compañías, sugiera los tipos de datos que deberían reunirse para planificar y controlar sus cadenas de suministro:
   a. Un hospital.
   b. El gobierno de una ciudad.
   c. Un fabricante de llantas.
   d. Un minorista de mercancía general.
   e. Una empresa de extracción de mineral.

   Para cada una, ¿qué herramientas de análisis de información cree que deberían incluirse en el sistema logístico de información?
7. Un fabricante de juguetes está planeando un programa de inventario administrado por el proveedor con uno de sus minoristas, Toys "Я" Us. Para operar dicho programa, ¿qué información debería suministrar el minorista al fabricante de juguetes? Describa cómo se usará cada elemento de la información.
8. Comente el impacto que las reglas de prioridad del procesamiento de pedidos pueden tener en el tiempo total del procesamiento de pedidos. ¿Bajo qué circunstancias preferiría procesar los pedidos según la regla de "el primero recibido-primero procesado" (orden de antigüedad) versus la regla del "tiempo más corto de procesamiento"?
9. Suponga que trabaja para una compañía que vende piezas para reparación automotriz y le ponen a cargo de desarrollar una estrategia de comercio electrónico. Se prepara una página Web para promover y proveer información sobre la línea del producto y para aceptar pedidos en línea. ¿Cómo planearía el llenado de los pedidos? Es decir, ¿procesamiento de pedidos, manejo de inventarios, almacenamiento, preparación de los envíos y reparto? ¿Qué tecnología de sistemas de información pudieran ser útiles para llevar a cabo estas actividades?

10. OMS, WMS y TMS conforman un sistema logístico de información (LIS).
    a. Describa los elementos de los datos y las herramientas de apoyo para la toma de decisiones que deberían estar en el LIS para: i) un minorista de comida rápida como Burger King o Pizza Hut; ii) un fabricante de automóviles como General Motors, Toyota o Fiat, y iii) una organización de servicio, como la Cruz Roja.
    b. Para formar un LIS integrado, ¿qué tipos de datos deberían compartirse entre OMS, WMS y TMS para formar un sistema logístico de información efectivo?
11. Un fabricante de cámaras digitales y otros equipos fotográficos vende esos artículos a través de una red de minoristas. Algunas plantas localizadas alrededor del mundo fabrican los productos que son enviados a los almacenes, donde los productos son mantenidos como inventario, utilizado para suministrar a los minoristas. Los productos se programan para ir a producción basados en los pedidos de los almacenes. Los almacenes surten los productos basados en los pedidos anticipados de los minoristas. Los minoristas hacen nuevos pedidos para sus inventarios en tienda basados en las estimaciones de ventas para sus territorios locales. Se usan camiones para mover los productos a través de la cadena de suministros (planta-almacén-tienda del minorista). Cuando en el canal de suministros existen incertidumbres, éstas son resultado de estimaciones equivocadas, retrasos en el transporte, cambios en la programación de producción, promociones no anticipadas de productos y recuento de inventario inadecuado.

    Mediante Internet y la página Web de la compañía, diseñe un sistema de solicitud que sea una alternativa para la valoración actual de pedidos. Sugiera el tipo de información que cada miembro del canal debería suministrar, cómo deberían hacerse las tomas de decisiones de solicitudes, cómo se tienen que manejar las incertidumbres y qué ventajas generales podría tener una solicitud basada en la Web comparada con el sistema actual de pedidos.

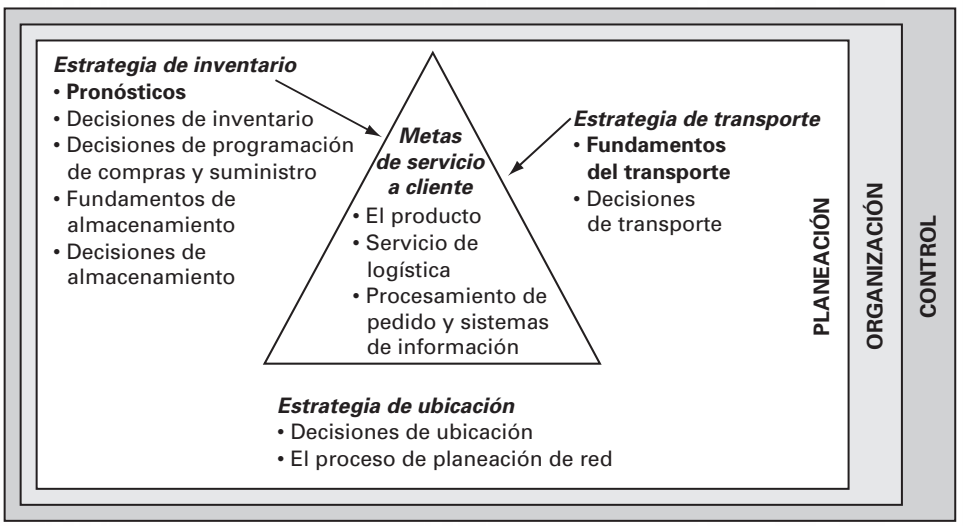
Capítulo 6

Fundamentos del transporte

Cuando los chinos escriben la palabra crisis, lo hacen con dos caracteres: uno significa peligro y el otro oportunidad.

—ANÓNIMO

La transportación generalmente representa el elemento individual más importante en los costos de logística para la mayoría de las empresas. Se ha observado que el movimiento de carga absorbe entre uno y dos tercios de los costos totales de logística.[1] Por ello, el responsable de logística necesita comprender bien los temas de transportación. A pesar de que un análisis completo de la transportación no pertenece al ámbito



[1] Recuerde la tabla 1-3 de la página 14.

de este texto, en este capítulo se enfatiza lo que será esencial para el responsable de logística en sus objetivos de dirección.

El enfoque se encuentra en las instalaciones y servicios que constituyen el sistema de transporte, y en las tarifas (costos) y desempeño de los distintos servicios de transporte que un administrador puede seleccionar. En específico, deseamos analizar las características de las alternativas del servicio de transportación que llevan a un desempeño óptimo, que es lo que compra el usuario de un sistema de transportación.

Importancia de un sistema eficaz de transporte

Sólo se necesita comparar las economías de una nación "desarrollada" con las de una "en desarrollo" para ver la participación que tiene el transporte en la creación de un nivel alto de actividad económica. Es típico de la nación en desarrollo que la producción y el consumo tengan lugar en un sitio cercano, que mucha de la fuerza de trabajo participe en la producción agrícola, y que una baja proporción de la población total viva en áreas urbanas. Con la llegada de los servicios de transporte de bajo costo y disponibilidad inmediata, la estructura integral de la economía cambia hacia la de las naciones desarrolladas. Las grandes ciudades se generan de la migración de la población a centros urbanos, las áreas geográficas limitan la producción a una estrecha gama de productos y el estándar económico de vida para el ciudadano promedio por lo general se eleva. Más específicamente, un sistema eficiente y económico de transporte contribuye a una mayor competencia en el mercado, a mayores economías de escala en la producción y a la reducción de precios en bienes.

Mayor competencia

Con un sistema de transporte poco desarrollado, la amplitud del mercado se limita a las áreas que rodean en forma cercana el punto de producción. A menos que los costos de producción sean extremadamente bajos comparados con los de un segundo punto de producción (es decir, la diferencia de costos de producción compensa los costos de transportación de atender al segundo mercado), es probable que no haya mucha competencia. Sin embargo, con las mejoras en el sistema de transporte, los costos reducidos para productos en mercados distantes pueden ser competitivos contra otros productos que se venden en los mismos mercados.

Además de impulsar la competencia directa, el transporte de bajo costo y de alta calidad también impulsa una forma indirecta de competencia al hacer que los bienes estén disponibles en un mercado que normalmente no podría solventar el costo de transportación. En realidad, se podrían incrementar las ventas mediante la penetración del mercado normalmente no disponible para ciertos productos. Los bienes de una región foránea tienen efecto estabilizador sobre los precios de todos los bienes similares en el mercado.

Aplicación

En muchos mercados, las frutas y verduras frescas y otros productos perecederos están disponibles sólo en ciertas temporadas del año debido a los patrones estacionales de cul-

tivo y a la falta de buenas condiciones agrícolas. No obstante, muchos de esos productos están en temporada en todo momento del año en algún lugar del mundo. El envío rápido a precios razonables coloca a estos productos perecederos en mercados que de otra forma no podrían tener acceso a ellos. Los plátanos de Sudamérica están disponibles en Nueva York en enero, langostas vivas de Nueva Inglaterra se sirven en restaurantes de la ciudad de Kansas durante todo el año, y las orquídeas hawaianas abundan en el este de Estados Unidos en abril. Un sistema eficiente y efectivo de transportación hace esto posible.

Economías de escala

Mercados más amplios crean costos más bajos de producción. Con el volumen más grande proporcionado por estos mercados se puede hacer uso más intenso de las instalaciones productivas, y en consecuencia la especialización de la mano de obra. Además, el transporte de bajo costo también permite la descentralización de los mercados y sitios de producción. Esto proporciona un grado de libertad al elegir sitios de producción de tal forma que la producción pueda ubicarse donde exista una ventaja geográfica.

Observación

Las autopartes que se fabrican en lugares como Taiwán, Indonesia, Corea del Sur y México se usan en operaciones de ensamblado en Estados Unidos y se venden en el mercado estadounidense. Los bajos costos de mano de obra y la producción de alta calidad constituyen atractivos para fabricar en el extranjero. Sin embargo, sin el transporte de bajo costo y confiable, el costo de suministrar las partes a lo largo de Estados Unidos sería demasiado alto para competir con la producción nacional.

Precios reducidos

La transportación de bajo costo también contribuye a los precios de producción reducidos. Esto ocurre no sólo debido a la competencia creciente en el mercado, sino también porque el transporte es un componente del costo junto con la producción, venta y otros gastos de distribución que componen el costo agregado del producto. Al volverse más eficiente la transportación, igual que al ofrecer un desempeño mejorado, la sociedad se ve beneficiada con un mayor nivel de vida.

Observación

El petróleo crudo se pude obtener de fuentes internas o puede importarse. Se tiene mayor acceso a las reservas de petróleo en Oriente Medio que a las internas, y éste se puede producir a un costo más bajo. Con el uso de supertanques, el petróleo se puede transportar a mercados de todo el mundo y venderse a precios más bajos que el que se produce internamente, si es que está disponible.

Opciones de servicio y sus características

El usuario de transportación tiene una amplia gama de servicios a su disposición que giran alrededor de cinco modalidades o modos básicos: marítimo, ferroviario, por camión, aéreo y por ductos o conducto directo. Un servicio de transporte es un conjunto de características de desempeño que se adquieren a determinado precio. La variedad de servicios de transportación es casi ilimitada. Las cinco modalidades se pueden usar combinadas (por ejemplo, transportación en plataformas o en contendedores); pueden utilizarse agencias de transportación, asociaciones de expedidores y corredores para facilitar estos servicios; los transportistas de envíos pequeños (por ejemplo, Federal Express y United Parcel Service) pueden usarse por su eficiencia en el manejo de paquetes pequeños; o se puede utilizar de manera exclusiva un solo modo de transportación. Entre estas opciones de servicio, el usuario elige un servicio o combinación de servicios que proporcione el mejor balance entre la calidad del servicio ofrecido y el costo de tal servicio. La tarea de elección de opción de servicio no es tan intimidante como parece en un principio, debido a que las circunstancias que rodean una situación particular de envío muchas veces reducen las opciones sólo a unas pocas posibilidades razonables.

Como auxilio en la resolución del problema de elección del servicio de transportación, éste debe ser visto en términos de características básicas para todos los servicios, como: precio, tiempo de tránsito promedio, variación del tiempo de tránsito, y pérdidas y daños. Estos factores parecen ser los más importantes para los responsables de la toma de decisiones (recuérdese la tabla 4-2), como lo han revelado numerosos estudios al paso de los años.[2] Se presume que el servicio está disponible y puede ser suministrado con una frecuencia que lo hace atractivo como una opción posible de servicio.

Precio

El precio (costo) del servicio de transporte para un consignatario será simplemente la tarifa de transporte de línea para el desplazamiento de bienes y cualquier cargo accesorio o terminal por servicio adicional proporcionado. En el caso de servicio por contrato, la tarifa cargada para el desplazamiento de bienes entre dos puntos más cualquier cargo adicional, como recoger la mercancía en el origen, la entrega en el destino, el seguro o la preparación de bienes para el envío, constituirán el costo total de servicio. Cuando el consignatario es dueño del servicio (por ejemplo, una flota de camiones), el costo del servicio será una asignación de los costos relevantes a un envío particular. Los costos relevantes incluyen rubros como combustible, mano de obra, mantenimiento, depreciación del equipo y costos administrativos.

El costo del servicio varía de manera importante de un tipo de servicio de transporte a otro. En la tabla 6-1 se ofrece el costo aproximado por tonelada-milla por los cinco modos de transportación. Obsérvese que el transporte aéreo es el más costoso y el transporte marítimo o por ductos son los más económicos. El envío por camión es casi siete veces más caro que el ferroviario, y el ferroviario es casi cuatro veces más costoso que el maríti-

[2] Para obtener los resultados de estos estudios, ver James R. Stock y Bernard J. LaLonde, "The Transportation Mode Decision Revisted", *Transportation Journal* (invierno de 1977), pág. 56; James E. Piercy y Ronald H. Ballou, "A Perfomance Evaluation on Freight Transport Models", *Logistics and Transportation Review,* Vol. 14, Núm. 2 (1978), págs. 99-115; y Douglas M. Lambert y Thomas C. Harrington, "Establishing Customer Service Strategies Within the Marketing Mix: More Empirical Evidence", *Journal of Business Logistics,* Vol. 10, Núm. 2 (1989), pág. 50.

Tabla 6-1
Precio promedio de transportación de carga de tonelada-milla por modo de transporte

Modo	Precio, ¢/tonelada-milla[a]
Ferrocarril	2.28[b]
Camión	26.19[c]
Marítimo	0.74[d]
Ductos	1.46[e]
Aéreo	61.20[f]

[a] Basado en tonelada-milla promedio
[b] Clase 1
[c] Menos que una carga de camión
[d] Barcaza
[e] Ductos de petróleo
[f] Nacional
Fuente: Rosalyn A. Wilson, *Transportation in America 2000*, 18a. ed. (Washington, DC: ENO Transportation Foundation, 2000), pág. 19.

mo o por ductos. Estas cifras son los promedios que resultan de la proporción del ingreso de carga generado por un modo al total de toneladas por milla enviadas. Aunque estos costos promedio pueden utilizarse para comparaciones generales, las comparaciones de costos para el propósito de selección de servicio de transporte se deben hacer con base en los cargos reales que reflejan la mercancía enviada, la distancia y la dirección del desplazamiento, así como cualquier manejo especial requerido.

Tiempo de tránsito y variabilidad

Encuestas repetidas han mostrado (recordar la tabla 4-1) que el tiempo de entrega promedio y la variabilidad del tiempo de entrega se clasifican en los primeros lugares de las listas de características importantes de desempeño. El tiempo de entrega (en tránsito) se refiere por lo general al tiempo promedio de entrega que le toma a un envío desplazarse desde su punto de origen a su destino. Los distintos modos de transportación varían según la posibilidad de proporcionar una conexión directa entre los puntos de origen y destino. Por ejemplo, los envíos se mueven por transporte aéreo entre los aeropuertos o en transporte acuático entre puertos marítimos. Sin embargo, para propósitos de comparación del desempeño del transportista, es mejor medir el tiempo de tránsito puerta a puerta incluso si está implicado más de un modo. Aunque el movimiento principal de un envío pueda ser por ferrocarril, la recolección y la entrega local se hacen por lo general por camión si ningún apartadero ferroviario está disponible en los puntos de origen y de destino del embarque.

Variabilidad se refiere a diferencias ordinarias que ocurren entre los envíos por diferentes modalidades. Los envíos que tienen los mismos puntos de origen y de destino y que se desplazan sobre la misma modalidad no estarán necesariamente en tránsito durante el mismo periodo debido a los efectos del clima, la congestión del tráfico, el número de paradas, y las diferencias en el tiempo para consolidar envíos. La variabilidad del tiempo de tránsito es una medida de la incertidumbre en el desempeño del transportista.

Las estadísticas sobre el desempeño del transportista no son extensas, debido a que ningún negocio utiliza el sistema de transporte total lo suficiente para proporcionar comparaciones valiosas sobre una escala más grande. Sin embargo, las agencias militares y gubernamentales usan ampliamente el sistema de transporte nacional para toda clase de movimientos de artículos y mantienen buenos registros de los tiempos de entrega. Donde la

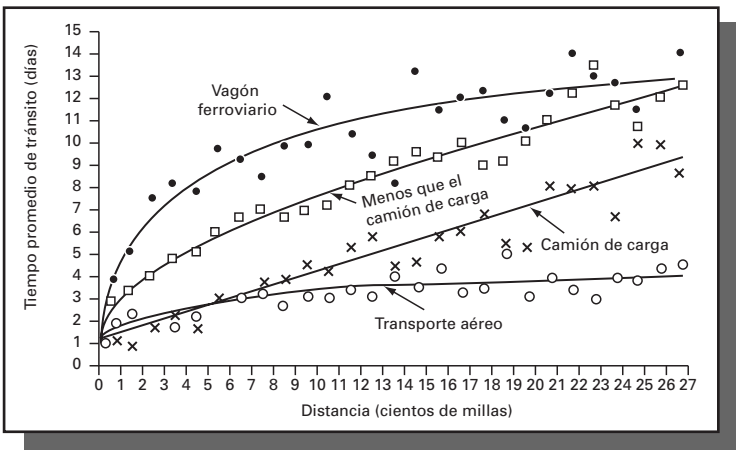


Figura 6-1
Tiempo de tránsito promedio experimentado por aproximadamente 16,000 envíos militares e industriales por un servicio de transporte seleccionado.

Fuente: James Piercy, "A Performance Profile of Several Transportation Freight Services" (Disertación doctoral, Case Wesern Reserve University sin publicar, 1977).

información está disponible, la verificación selectiva contra los envíos industriales no muestra diferencias significativas entre las fuentes de información respecto de la variabilidad del tiempo de tránsito.

Uno de los estudios más amplios del desempeño de transportistas fue llevado a cabo en más de 16,000 envíos militares e industriales. Algunos de los resultados se resumen en la tabla 6-2 y en la figura 6-1. Obsérvese de manera particular que en largas distancias, los envíos por ferrocarril y aéreos alcanzan tiempos de tránsito promedio constantes, en tanto que los tiempos de tránsito de camiones continúan en ascenso. Naturalmente, en promedio, el transporte aéreo es la modalidad más rápida para distancias de más de 600 millas (965 km), le siguen en rapidez: el camión de carga, el menor al camión de carga y el ferrocarril. Para distancias menores de 600 millas, el transporte aéreo y el camión son equivalentes. Para distancias muy cortas de menos de 50 millas (80 km), el tiempo de tránsito depende de la operación de recolección y entrega que del tiempo de tránsito del recorrido.

En términos de variabilidad, los servicios de transporte pueden clasificarse, a grandes rasgos, según su tiempo promedio de entrega. Es decir, el ferrocarril tiene la variabilidad de tiempo de entrega más alta y el transporte aéreo tiene la más baja, con el servicio de camión entre esos extremos. Si se ve la variabilidad con relación al tiempo de tránsito promedio por el servicio de transporte, el aéreo puede ser menos confiable y el camión de carga el más confiable.

Pérdidas y daños

Debido a que los transportistas difieren en su habilidad para desplazar la carga sin pérdidas ni daños, la experiencia en pérdidas y daños se vuelve un factor importante en la selección de un transportista. La condición del producto es una consideración principal del servicio al cliente.

Los transportistas comunes tienen la obligación de desplazar la carga con una rapidez razonable y de hacerlo con cuidado razonable con el fin de evitar pérdidas o daños. Esta posibilidad se aminora si la pérdida y el daño son resultado de un desastre natural, incumplimiento del consignatario u otras causas fuera del control del transportista. Aunque los transportistas, bajo adecuada presentación de los hechos por parte del consignatario, asuman la pérdida directa sustentada por el consignatario, existirán ciertos costos imputados que el consignatario deberá enfrentar antes de hacer una selección del transportista.

Tabla 6-2 Comparación del tiempo de tránsito promedio y el rango de tiempo para 95% de los envíos, en días, para diferentes servicios de transporte y distancias seleccionadas en millas

	Vagón de carga		Menos que el camión de carga		Camión de carga		Transporte aéreo		Avión express		Plataforma[a]	
Millas	Prom.	95% Rango	Prom.	95% Rango	Prom.	95% Rango	Prom.	95% Rango	Prom.	95% Rango	Prom.	95% Rango
0–49	1.5	0[b]–3.5	1.7	0–5.1	0.8	0–3.2	—[c]	—[c]	—[c]	—[c]	—[c]	—[c]
100–199	5.2	0–11.9	3.4	0–7.7	2.0	0–5.6	2.3	0–7.7	1.9	0–5.1	3.8	0–7.4
300–399	8.3	1.4–15.2	5.0	0.4–9.6	1.9	0–4.7	1.8	0–5.9	2.1	0–5.7	4.4	1.7–7.1
500–599	9.8	2.5–17.1	6.0	0–12.0	2.7	0–6.4	3.1	1.1–6.0	1.6	0–4.1	6.6	0–13.7
700–799	8.6	0.6–16.6	7.1	0–14.5	4.1	0–8.9	3.2	0.1–6.3	2.3	0–6.1	6.2	1.0–11.4
1000–1099	12.2	2.9–21.5	7.4	1.3–13.5	4.0	1.1–6.9	3.0	0.2–5.9	1.4	0–3.7	6.1	1.5–10.7
1500–1599	11.1	5.6–16.6	8.9	0.7–17.2	5.3	0.8–9.9	4.6	0.7–9.9	1.5	0–4.9	4.6[d]	0–10.0[d]
2000–2099	11.5	1.4–21.5	11.1	3.2–18.9	8.0	0–16.1	4.0	0–9.0	1.8	0–4.6	5.1[d]	2.6–7.7[d]
2500–2599	12.4	8.3–16.6	12.3	6.7–17.9	8.8	3.3–14.3	4.4	0–10.1	3.4	0–9.6	6.7[d]	1.1–12.2[d]
3000–3099	10.6	1.5–19.7	12.9	3.8–22.0	10.4	5.9–14.9	3.2	0.7–7.0	6.0	0–23.3	5.6[d]	3.9–7.3[d]

[a] Trailer sobre vagón de plataforma
[b] El cero se refiere a entregas de envíos hechas en menos de un día
[c] Información insuficiente
[d] Información de DeHayes
Fuente: Adaptada de James Piercy, "A Performance Profile of Several Transportation Freight Services" (Disertación doctoral, Case Western Reserve University sin publicar, 1977); y Daniel DeHayes, Jr., "The General Nature of Transit Time Performance of Selected Transportation Modes in the Movement of Freight" (Disertación doctoral, Ohio State University, 1968): págs. 163-177.

Posiblemente, la pérdida más notable que el consignatario pueda enfrentar se relaciona con el servicio al cliente. El envío de bienes puede ser para reabastecer el inventario del cliente o para su uso inmediato. Los envíos demorados o bienes que llegan en pésimas condiciones implicarán inconvenientes para el cliente o tal vez costos de inventario más altos que surgen de un mayor número de inventarios agotados o pedidos con retraso cuando el inventario de reabastecimiento anticipado no se recibe como lo planeado. El proceso de reclamación toma tiempo para reunir los hechos pertinentes a la reclamación, consume esfuerzo por parte del consignatario para preparar la forma de reclamación adecuada, congela capital mientras la reclamación está en proceso y en ocasiones implica un gasto considerable si la reclamación puede resolverse sólo mediante acción de la corte. Obviamente, en tanto existan menores reclamaciones contra el transportista, más favorable parecerá el servicio al usuario. Una reacción común de los consignatarios ante una alta probabilidad de daño es proporcionar un mayor empaque protector. Este gasto también deberá ser asumido finalmente por el usuario.

Opciones de servicio sencillo

Cada uno de los cinco modos básicos de transportación ofrece sus servicios en forma directa al usuario. Esto contrasta con el uso de un "intermediario de transportación", como un agente transportista, quien vende servicios de transportación pero por lo general no posee (ni en menor medida) capacidad de desplazamiento de transporte de línea. El servicio de modo simple también se compara con los servicios que implican dos o más modos individuales de transporte.

Ferrocarril

El ferrocarril es una empresa de transporte de larga distancia y baja velocidad para materias primas (carbón, madera y químicos) y productos manufacturados de bajo valor (productos alimentarios, de papel y de madera) que prefiere desplazar tamaños de envío de al menos un vagón completo. En 1999, la longitud promedio de un recorrido de este tipo fue de 712 millas (1145 km),[3] con una velocidad promedio del tren de 20 millas por hora (32 km por hora).[4] La distancia promedio de recorrido en un día fue de 64 millas (103 km) en el servicio de transporte de línea.[5] Esta relativa baja velocidad y corta distancia recorrida en un día refleja el hecho de que la mayor parte del tiempo de vagón de carga (86%) se destina a las operaciones de carga y descarga, al desplazamiento de un lugar a otro dentro de las terminales, a la clasificación y ensamblado de vagones en los trenes o a los tiempos muertos durante un desplome estacional de la demanda de vagones.

El servicio de ferrocarril existe en dos formas legales: el transportista común o la propiedad privada. El transportista común vende sus servicios de transportación a todos los consignatarios y está guiada por las regulaciones económicas[6] y de seguridad de las agencias gubernamentales apropiadas. En contraste, los transportistas privados son propiedad del consignatario con la intención común de servir sólo al propietario. Debido al ámbito li-

[3] Rosalyn A. Wilson, *Transportation in America 2000,* 18a. ed. (Washington, DC: ENO Transportation Foundation, 2000), pág. 51.
[4] *Statistical Abstract of the U.S.:* 2000, pág. 695.
[5] *Statistical Abstract of the U.S.:* 1989, pág. 606.
[6] Existen pocas regulaciones económicas federales desde la aprobación de la Staggers Rail Act de 1980, que desregula económicamente la transportación ferroviaria. Algunas regulaciones permanecen a nivel estatal.

mitado de las operaciones de transportistas privados, no se requiere ninguna regulación económica. Casi todo el movimiento ferroviario es del tipo de transportista común.

El servicio ferroviario de transportista común de línea es principalmente de vagón o carro lleno (CL, por sus siglas en inglés); se refiere a un tamaño predeterminado de envío, que por lo general se aproxima o excede la capacidad promedio de un vagón de tren a la que se le aplica una tarifa particular. Se puede ofrecer una tarifa por quintal (cwt o 45.36 kg) por múltiples cantidades de carro lleno y será menor que la tarifa más baja de carro lleno (LCL, por sus siglas en inglés), la cual refleja el reducido tiempo de manejo requerido para envíos de alto volumen. Casi todos los transportes ferroviarios actualmente se desplazan en cantidades de carro lleno, reflejo de la tendencia hacia el movimiento de volumen. Se están utilizando mayores carros de carga con capacidad de carga por carro promedio de 83 toneladas, y trenes de una sola mercancía (llamados trenes unitarios) de 100 o más carros por tren, con reducciones de tarifa de 25 a 40% menores que con carros llenos individuales.

Los trenes ofrecen una variedad de servicios especiales al consignatario, que van desde el desplazamiento de mercancía al por mayor, como carbón y granos, hasta carros especiales para productos refrigerados y automóviles nuevos que requieren equipo especial. Otras ofertas incluyen servicio expedito para garantizar el arribo en cierto número de horas; privilegios de varias paradas, que permiten la carga y descarga parcial entre los puntos de origen y destino; recolección y entrega; el desvío y reenvío, los cuales permiten cambios y modificación de circuito al destino final de un envío mientras se está en ruta.

Camión

En contraste con el ferrocarril, el transporte por camión es un servicio de transportación de productos semiterminados y terminados con una longitud de carga promedio de recorrido de 717 millas (1,150 km) para un servicio menor que un camión de carga (LTL por sus siglas en inglés) y de 286 millas (460 km) para camión de carga (TL, por sus siglas en inglés).[7] Además, los camiones desplazan la carga con menores tamaños promedio de envío que el ferrocarril. Más de la mitad de los envíos por camión son menores de 10,000 libras (4,500 kg) o de volumen LTL. Las ventajas inherentes del transporte por camión son su servicio puerta a puerta, que implica que no hay carga o descarga entre el origen y el destino, como sucede por lo general para las modalidades por ferrocarril y avión; su frecuencia y disponibilidad de servicio; y su velocidad y conveniencia del puerta a puerta.

Los servicios de camión y tren muestran algunas diferencias distintivas, aunque compiten por muchos de los mismos envíos de productos. Primero, además de la clasificación general legal privada de los transportistas, la transportación por camión ofrece también servicios como transportistas por contrato, los cuales no se contratan para servir a todos los consignatarios como lo hacen los transportistas por contrato. Los consignatarios realizan arreglo contractual para obtener un servicio que atienda mejor sus necesidades particulares sin incurrir en el gasto de capital y problemas administrativos relacionados con la propiedad de una flota de camiones.

En segundo lugar, los camiones pueden ser menos capaces de manejar todos los tipos de carga en comparación con el tren; principalamente, debido a las restricciones de seguridad de autopistas, que limitan las dimensiones y peso de los envíos. La mayor parte de los envíos deben ser menores que el popular camión de carga de 40 a 53 pies (12-16 m); a

[7] *Transportation in America 2000,* pág. 51.

menos que tenga una base doble o triple) y menos de 8 ft (2.5 m) de amplitud y 8 ft de altura para asegurar visibilidad de carretera. Equipo especialmente diseñado puede aceptar cargas con dimensiones diferentes a éstas.

En tercer lugar, los camiones de carga ofrecen entregas de rapidez razonable y entrega confiable para envíos LTL: El camionero necesita llenar sólo un trailer antes de desplazar el envío, en tanto que el ferrocarril debe preocuparse de llenar un tren de 50 carros o más. En el balance, el camión tiene la ventaja de servicio en el mercado de envíos pequeños.

Avión

El transporte aéreo ha sido considerado por un mayor número de consignatarios para servicio regular, aunque las tarifas de transporte aéreo exceden las del transporte por camión por más de dos veces, y las del ferrocarril por más de 16 veces. El atractivo del transporte aéreo es su rapidez origen-destino sin igual, en especial a través de largas distancias. La magnitud promedio de un transporte de carga es de 1,001 millas (1,611 km).[8] Los aviones comerciales tienen velocidades de crucero entre 545 y 585 millas (880 y 940 km) por hora, aunque la velocidad promedio de aeropuerto a aeropuerto sea algo menor que la velocidad de crucero debido al tiempo de taxeo y de espera de cada aeropuerto y al tiempo necesario de ascenso y descenso desde la altitud de crucero. Pero esta velocidad no es comparable directamente con la de otras modalidades debido a que los tiempos de recolección y entrega, y de manejo en tierra no están incluidos. Todos estos elementos de tiempo deben ser combinados para representar el tiempo de entrega aéreo de puerta a puerta. Debido a que el manejo y el desplazamiento de la carga en superficie son los elementos más lentos del tiempo total de entrega puerta a puerta, el tiempo total de entrega puede ser tan reducido que un camión y una operación de tren bien operados pueden igualar al programa aéreo. Por supuesto, esto dependerá de casos individuales.

La confiabilidad y disponibilidad del servicio aéreo puede ser clasificada como buena bajo condiciones de operación normales. La variabilidad del tiempo de entrega es baja en magnitud absoluta, aunque el servicio aéreo es muy sensible a desperfectos mecánicos, condiciones atmosféricas, y congestión de tráfico. La variabilidad, cuando se compara con los tiempos promedio de entrega puede clasificar al transporte aéreo como uno de los modos menos confiables.

La capacidad de los servicios aéreos se ve limitada de manera importante por las dimensiones físicas del espacio de carga en la aeronave y por su capacidad de carga. Sin embargo, este problema se está solventando debido a que se están poniendo en servicio aeronaves más grandes. Por ejemplo, los aviones "jumbo", como el Boeing 747 y el Lockheed 500 (versión comercial del C5A militar) manejan cargas de 125 a 150 toneladas. Se espera que los costos por tonelada-km puerta a puerta se reduzcan a casi la mitad de los niveles de costos actuales mediante los beneficios de la nueva tecnología, la desregulación y los programas de mejoramiento de productividad. Esto haría de los servicios aéreos un competidor serio para los servicios premium de transporte terrestre.

La transportación aérea tiene una ventaja clara en términos de pérdidas y daños. De acuerdo con un estudio clásico de Lewis, Culliton y Steele[9], la proporción de los costos de reclamaciones a los ingresos de carga fue sólo de 60% de aquellas por tren o camión. En general, se necesitan empaques menos protectores para las cargas aéreas si el manejo por

[8] Íbid.
[9] Howard T. Lewis, James W. Culliton, y Jack W. Steele, *The Role of Air Freight in Physical Distribution* (Boston: Division of Research, Graduate School of Business Administration, Harvard University, 1956), pág. 82.

tierra no genera mayor exposición a daños que el de la fase de ruta del movimiento y si el robo aeroportuario no es excesivo.

El servicio de transportación aérea existe en las formas común, por contrato y legal privada. El servicio aéreo directo se ofrece en siete tipos: 1) transportistas regulares locales de línea de camiones; 2) transportistas de todo tipo de carga; 3) aerolíneas de servicio local; 4) transportistas complementarios; 5) taxis aéreos; 6) aerolíneas de trabajo, y 7) transportistas internacionales. Cerca de una docena de aerolíneas operan actualmente en las rutas más congestionadas. Estas aerolíneas ofrecen servicios de transportación de carga además de sus operaciones de pasajeros programadas regularmente. Todos los transportistas de carga son transportistas comunes sólo de carga. El servicio se concentra en la noche, y las tarifas promedian 30% menos que las de transportistas locales. Las aerolíneas con servicio local proporcionan un servicio "de conexión" con transportistas nacionales interurbanos para centros menos poblados. Proporcionan tanto servicios de carga como de pasajeros. Los transportistas complementarios (charters) operan en gran parte como lo hacen los transportistas interurbanos, excepto que no tienen horarios regulares. Las aerolíneas de trabajo son similares a los transportistas de servicio local que "cubren" rutas dejadas por los transportistas interurbanos desde la desregulación. En general, se operan aeronaves más pequeñas que las de los transportistas interurbanos. Los taxis aéreos son aeronaves pequeñas, esto es, helicópteros y aviones de ala fija que ofrecen servicios de transporte regular para pasajeros y carga entre aéreas céntricas de las ciudades y aeropuertos. Muchas veces tienen sólo servicio irregular. Los transportistas internacionales transportan carga y pasajeros más allá de sus regiones nacionales.

Barco

El servicio de transportación marítima está limitado en su alcance por muchas razones. El servicio de aguas nacionales se confina al sistema de caminos acuíferos en tierra, el cual requiere que los consignatarios estén ubicados sobre los caminos acuíferos o utilicen otro modo de transporte en combinación con éste. Además, el servicio marítimo es en promedio más lento que el ferrocarril. La velocidad promedio en el sistema acuático del Mississippi es de cinco a nueve millas por hora (8 a 15 km/h), dependiendo de la dirección. El recorrido promedio de un transporte de carga es de 481 millas (774 km) en ríos, de 507 millas (816 km) en los Grandes Lagos y de 1,648 millas (2,650 km) a lo largo de las costas estadounidenses.[10] La disponibilidad y confiabilidad del servicio acuífero es influida de manera importante por el clima. El desplazamiento en los caminos acuíferos en la parte norte de Estados Unidos durante el invierno es imposible, y las inundaciones y las sequías pueden interrumpir el servicio en otras ocasiones. Hay gran capacidad de los transportistas en agua, con posibilidad de remolcar 40,000 toneladas, y barcazas individuales con dimensiones estándar de 26 por 175 pies (8 $\times$ 52.5 metros) y de 35 por 195 pies (10.5 $\times$ 58.5 metros). La capacidad y manejo se están incrementado a medida que se desarrollan nuevos barcos, como buques cargueros, y por mejoras como la navegación mediante satélite con radar, refinados buscadores de profundidad y servicio de piloto automático a toda hora.

Los servicios marítimos se proporcionan en todas las formas legales, y la mayor parte de las mercancías enviadas por agua se desplazan libres de regulación económica. Además de la transportación privada no regulada, las cargas de líquidos que se mueven en tanques y la mercancía a granel, como carbón, arena y granos, constituyen más de 80% de las toneladas-milla anuales totales por agua que están exentas. Fuera del manejo de car-

[10] *Transportation in America 2000*, pág. 51.

ga de mercancías, los transportistas por agua, en especial aquellos en servicio extranjero, desplazan algunas mercancías de alto valor. Esta carga se mueve en contendedores[11] en barcos adecuados para éstos, para reducir el tiempo de manejo, para afectar la transferencia intermodal y para reducir las pérdidas y daños.

Los costos por pérdidas y daños que resultan de la transportación por agua se consideran bajos en relación con otras modalidades, debido a que el daño no preocupa tanto para cargas de productos de bajo valor y de granel, y las pérdidas debido a retrasos no son graves (por lo general se mantienen grandes inventarios por los compradores). Las reclamaciones que implican el transporte de bienes de alto valor, como en las cargas oceánicas, son mucho más altas (alrededor de 4% de los ingresos de transportación oceánica). Se necesita embalaje reforzado para proteger los bienes, principalmente contra manejo rudo durante las operaciones de carga y descarga.

Ductos

A la fecha, la transportación por ductos ofrece un rango muy limitado de servicios y capacidades. Los productos que se adecúan de manera más económica a transportarse por ductos son el petróleo crudo y sus productos refinados. Sin embargo, existe alguna experimentación con la transportación de productos sólidos suspendidos en un líquido, denominado "lechoso", o con el almacenamiento de productos sólidos en cilindros que a su vez se mueven en un líquido dentro de los ductos. Si estas innovaciones demuestran ser económicas, el servicio de ductos puede expandirse de manera importante. Las primeras experiencias con carbón suspendido en un líquido no han sido favorables, debido a que los ductos se han deteriorado.

El desplazamiento de productos en ductos es muy lento, cerca de 3 o 4 millas por hora (5 o 6.5 km/h). Esta lentitud se atenúa por el hecho de que los productos se mueven durante 24 horas al día los siete días de la semana. Esto hace que la velocidad efectiva sea mucho mayor cuando se compara con otros modos. La capacidad de los ductos es alta si se considera que un flujo de 3 millas por hora (5 km/h) en un ducto de 12 pulgadas (30 m) de diámetro puede mover 89,000 galones (337,000 litros) por hora.

En cuanto al tiempo de tránsito, el servicio de ductos es el más confiable de todas las modalidades, debido a que existen pocas interrupciones que causen variabilidad de tiempo de tránsito. El clima no es un factor importante, y el equipo de bombeo es muy confiable. Además, la disponibilidad de capacidad de ductos está limitada sólo por el uso que otros consignatarios puedan estar haciendo de las instalaciones en el momento en que se desea la capacidad.

Las pérdidas y daños de producto por los ductos son bajas debido a que: 1) los líquidos y gases no están sujetos a daños en el mismo grado que los productos manufacturados; y 2) el número de daños que puede ocurrirle a una operación de ductos es limitado. La responsabilidad por pérdidas y daños, cuando ocurren, se debe a que los ductos corresponden al estado de transportistas comunes, aunque muchos sean transportistas privados.

Para resumir la calidad de los servicios ofrecidos por la industria de la transportación, la tabla 6-3 muestra una clasificación de los distintos modos utilizando las cuatro características de costo y desempeño que se establecieron al principio de esta sección. Se debe reconocer que bajo circunstancias específicas de tipo de producto, distancia del envío, administración del transportista, relaciones usuario-transportista y condiciones atmosféricas, estas clasificaciones pueden cambiar, y el servicio de modos específicos quizá no esté disponible.

[11] Los contenedores son "cajas" estándar, por lo general de 8 × 8 ×10 pies, de 8 × 8 × 20 pies , o de 8 × 8 × 40 pies (2.4 × 2.4 × 3 / 6 / 12 m, respectivamente), en los que la carga se maneja como una unidad y se transfieren fácilmente a otros medios de transportación.

	MODALIDAD DE TRANSPORTACIÓN				
		Variabilidad	Características de desempeño		
Tiempo promedio de entrega	Costo[b] 1 = el más alto	Tiempo de entrega[c] 1 = el más rápido	Absoluta 1 = el menos	Porcentaje[d] 1 = el menos	Pérdidas y daños 1 = el menos
Ferrocarril	3	3	4	3	5
Camión	2	2	3	2	4
Barco	5	5	5	4	2
Ducto	4	4	2	1	1
Avión	1	1	1	5	3

[a] Se supone que el servicio está disponible
[b] Costo por tonelada-milla
[c] Velocidad puerta a puerta
[d] Razón de la variación absoluta en el tiempo de entrega al tiempo promedio de entrega
Fuente: Las estimaciones del autor para un desempeño promedio sobre una variedad de circunstancias.

Tabla 6-3 Clasificaciones relativas de modo de transportación por características de costo y desempeño operativo[a]

Servicios intermodales

En años recientes ha habido incremento en el envío de productos utilizando más de una modalidad de transportación en el proceso. Más allá de los beneficios económicos obvios, los crecientes envíos internacionales han sido una fuerza impulsora. La característica más importante del servicio intermodal es el intercambio libre de equipo entre las modalidades. Por ejemplo, la parte del contenedor de un trailer de carga se transporta a bordo de un avión, o un vagón de tren puede transportarse en un transbordador marítimo. Tal intercambio de equipo crea servicios de transporte que no están disponibles para un consignatario utilizando una sola modalidad de transporte. Los servicios coordinados por lo general son un compromiso entre los servicios que se ofrecen de manera individual por los transportistas participantes. Es decir, las características de costo y desempeño se clasifican entre las de los transportistas por separado.

Hay diez combinaciones posibles de servicio intermodal: 1) ferrocarril-camión; 2) ferrocarril-barco; 3) ferrocarril-avión; 4) ferrocarril-ducto; 5) camión-avión; 6) camión-barco; 7) camión-ducto; 8) barco-ducto; 9) barco-avión, y 10) avión-ducto. No todas estas combinaciones son prácticas. Algunas de las que son posibles han ganado un poco de aceptación. Sólo el uso de ferrocarril-camión, llamado *piggyback* (plataforma), se ha difundido ampliamente. Las combinaciones de camión-barco, denominadas *fishyback,* están ganando aceptación, en especial en el movimiento internacional de bienes de alto valor. En menor grado, son posibles las combinaciones camión-avión y ferrocarril-barco, pero su uso es limitado.

Remolques en plataformas

El remolque sobre plataforma (TOFC, por sus siglas en inglés), o *piggyback*, se refiere al transporte de trailers sobre plataformas de ferrocarril, generalmente sobre distancias más largas que las que recorren los camiones. TOFC es una mezcla de conveniencia y flexibilidad del transporte por camiones y la economía de largos trayectos del ferrocarril. La ta-

rifa por lo general es menor que para el transporte por camión en lo individual y ha permitido que este último extienda su rango económico. De la misma forma, el ferrocarril ha sido capaz de compartir cierto tráfico que normalmente sólo se desplazaría por camión. El consignatario se beneficia de la conveniencia del servicio puerta a puerta sobre largas distancias a tarifas razonables. Estas características han hecho del *piggyback* el servicio coordinado más popular. El número de vagones cargados con trailers y contenedores ha demostrado un constante y notable incremento de 554,000 en 1960 a 9'740,000 en 1996 (anualizado), o 55% de las cargas de vagón.[12]

Se ofrecen cinco diferentes planes para el servicio de trailer sobre plataforma, dependiendo de quién sea el dueño del equipo de carretera y de ferrocarril, y sobre la estructura de tarifa establecida. Estos planes son los siguientes:

- *Plan I.* Los ferrocarriles transportan los trailers de los transportistas comunes de carretera. La facturación es a través de los transportistas de carretera, y los ferrocarriles cobran una parte de la tarifa de los transportistas o una tarifa fija por desplazar al trailer.
- *Plan II.* Los ferrocarriles utilizan sus propios trailers y contenedores y los transportan sobre sus propias plataformas para proporcionar un servicio puerta a puerta. Los ferrocarriles realizan contratos con los camioneros locales para manejar el ensamblado en las terminales de origen y la entrega desde las terminales de destino. Los consignatarios tratan sólo con los ferrocarriles y reciben tarifas comparables con las de los transportistas generales de carretera.
- *Plan II 1/4.* Similar al plan II, excepto que los ferrocarriles proporcionan la recolección o la entrega, o ambas.
- *Plan II 1/2.* Los ferrocarriles proporcionan los trailers o contenedores y los consignatarios proporcionan el servicio de desplazarlos desde las terminales de ferrocarril y hacia éstas.
- *Plan III.* Los consignatarios o agentes transportistas pueden colocar sus propios trailers o contenedores, vacíos o cargados, sobre las plataformas de ferrocarril por una tarifa única. La tarifa es de rampa a rampa; es decir, la recolección y entrega son responsabilidad de los consignatarios.
- *Plan IV.* Los consignatarios proveen no sólo los trailers o contenedores, sino también el equipo ferroviario sobre el que se desplazan los trailers o contenedores. El pago al ferrocarril es por los trenes y por la potencia de tirado.
- *Plan V.* Dos o más transportistas de ferrocarril y camión cotizan de manera conjunta el servicio de TOFC. Cada transportista puede solicitar carga para el otro, lo que tiene el efecto de extender el territorio de cada uno al territorio que atendía el otro.

Carga en contenedores estándar

Bajo un acuerdo TOFC, el trailer completo es transportado sobre una plataforma de ferrocarril. Sin embargo, también es posible visualizar el trailer en dos formas, es decir: 1) como contenedor o caja en el que la carga es empacada; y 2) como el chasis del trailer. En un servicio intermodal camión-ferrocarril, es posible transportar sólo el contenedor, ahorrando de esta forma el peso muerto de la estructura y las ruedas. Tal servicio se denomina contenedor sobre plataforma (COFC, por sus siglas en inglés).

El contenedor estándar es una pieza de equipo transferible a todos los modos de transportación de superficie, excepto el ducto. Ya que la carga en contenedor evita el cos-

[12] "Intermodal Traffic Creeps Upward", *Daily Trucking and Transportation News* (24 de julio de 1996).

to de remanejo de unidades pequeñas de envío en el punto de la transferencia intermodal y ofrece la capacidad del servicio puerta a puerta cuando se combina con el camión, los transportistas marítimos utilizan barcos contenedores, de manera que se puedan proporcionar las combinaciones de servicio barco-camión. Este tipo de servicio se encuentra en expansión, en especial por el incremento en el comercio internacional. El contenedor también puede ser utilizado en combinación con servicios aéreos. El más prometedor hasta la fecha es la combinación avión-camión. El contenedor es importante para la transportación aérea porque los altos costos de desplazamiento prohíben transportar el chasis del trailer. La utilización de grandes contenedores en la transportación aérea ha sido limitada por las dimensiones de las aeronaves existentes y por el pequeño tamaño de envío que la transportación aérea predominantemente maneja, pero a medida que las tarifas de la transportación aérea se reducen, debido posiblemente a las mayores aeronaves que se ponen en operación, el servicio coordinado avión-camión deberá expandirse.

Los servicios prestados por los servicios coordinados de transportación girarán en torno del tamaño del contenedor que se adopte como estándar. Un contenedor que sea demasiado grande para transportación por camión o que sea incompatible con el equipo de transporte de camión, impedirá el uso de este modo de transporte. El mismo argumento aplica para los otros modos de transporte. Los tamaños típicos de contenedor son de $8 \times 8 \times 20$ pies y $8 \times 8 \times 40$ pies ($2.4 \times 2.4 \times 6$ / 12 m, respectivamente). Ambos son compatibles con el trailer estándar de 40 pies (12 m) y con la mayor parte de los otros modos de transporte.

Observación

El desplazamiento de carga en contenedores inició en 1956 cuando Malcom McClean movió, por vez primera, carga en trailers desplazados por el océano en un buque tanque de la segunda guerra mundial que navegó desde Newark, Nueva Jersey, hacia Houston, Texas. Poco después de esto, un barco fue convertido especialmente a cajas estante del tamaño de un furgón sobre su cubierta. El servicio por contenedores se difundió desde Puerto Rico hasta Europa y al Pacífico. La idea de McClean recortó el tiempo de manejo en terminal, el robo, y los costos de seguro. Ahora, 75% de la mercancía oceánica que Estados Unidos comercia con el resto del mundo es transportada en grandes contenedores en vez de las rejas, sacos y cajas que se utilizaban anteriormente.[13]

Agencias y servicios de envíos pequeños

Agentes

Existen varias agencias que ofrecen servicios de transportación a quienes requieren realizar envíos (consignatarios) pero que no cuentan con equipo de transporte de línea o es de baja escala. Ellos manejan principalmente numerosos envíos pequeños y los consolidan en cantidades de carga vehicular. Se cobran tarifas competitivas con las de LTL, y mediante la consolidación de los múltiples envíos que maneja la agencia, pueden obtener tarifas de carga vehicular. El diferencial de la tarifa de carga entre los envíos grandes y pequeños ayuda a compensar los gastos operativos. Además de la consolidación, las agencias proporcionan servicios de recolección y entrega a los consignatarios. Las agencias de

[13] "McClean Makes Containers Shipshape, 1956, "*Wall Street Journal"*, 29 de noviembre de 1989, pág. B1.

transportación incluyen agentes de transportación terrestre y aérea, asociaciones de consignatarios y corredores de transporte.

Los agentes de transporte son transportistas de carga por contrato. Poseen cierto equipo, pero principalmente para operaciones de recolección y entrega. Adquieren servicios de larga distancia por parte de transportistas aéreos, terrestres, ferroviarios y marítimos. La ventaja principal de los agentes de transporte es que pueden cotizar tarifas en envíos de hasta 30,000 libras (13,500 kg), en tanto que el peso del envío promedio manejado es de sólo 300 libras (135 kg).

Las asociaciones de consignatarios son organizaciones cooperativas que operan sobre una base no lucrativa. Los miembros pertenecen a la asociación para obtener menores costos de envío. Las asociaciones están diseñadas para realizar servicios similares a los de los agentes de transporte. Actúan como consignatario único con objeto de obtener tarifas de volumen. Cada transportista miembro paga una parte de la factura total de carga con base en la cantidad que enviará.

Los corredores de transporte son agentes que acercan a los consignatarios y transportistas al proporcionar información actual sobre tarifas, rutas y capacidades. Pueden hacer arreglos de transportación, pero no asumen responsabilidad por ella. Son especialmente valiosos para los transportistas que utilizan corredores que les buscan negocios. Han surgido numerosos sitios Web que, mediante una tarifa, conectan a los consignatarios con los transportistas con el fin de obtener mejor uso del equipo de transportación para los transportistas y menores tarifas para los consignatarios.

Servicios de envíos pequeños

La paquetería postal es un servicio de entrega de envíos pequeños proporcionado por el Servicio Postal de Estados Unidos. Los envíos se encuentran limitados en tamaño y pueden pesar hasta 70 libras (31.5 kg) y contar con una longitud de hasta 130 pulgadas (32.5 m),[14] y la entrega se realiza a todos los puntos dentro de Estados Unidos. La paquetería postal utiliza el servicio de transportistas de línea. Las empresas United Parcel Service y Federal Express ofrecen servicios de paquetería pequeña similares a la paquetería postal, con tarifas y niveles de desempeño competitivos. Se encuentra disponible el servicio de recolección y las entregas se efectúan en todos los estados y alrededor del mundo. También existe el servicio aéreo de primera para pequeños envíos, que ofrece entregas al día siguiente y en algunos casos en el mismo día. Federal Express es el servicio más popular de este tipo, aunque UPS y el Servicio Postal de Estados Unidos ofrecen servicios alternativos.

Además de las agencias que se especializan en servicios de envíos pequeños, los transportistas de línea también desplazan envíos pequeños. Generalmente existe una tarifa única cuando el peso del envío se encuentra por debajo de cierto peso mínimo, por lo general 200 a 300 libras (90 a 135 kg) para transporte terrestre. El servicio con frecuencia es menos favorable que para envíos mayores. Los ingresos entre estos servicios se encuentran distribuidos de la siguiente manera: camión UPS, 31.6%; camión LTL, 39.6%; aéreo normal, 4.2%; aéreo especial,[15] 24.6% y, ferrocarril y autobús, insignificante.[16]

[14] El tamaño se refiere a la suma de la longitud (la mayor dimensión) y el contorno (el doble del grosor más el doble de la profundidad). Estos límites son reducidos aún más por el servicio postal de primera clase.
[15] Federal Express, UPS, DHL y Airborne Express.
[16] Rosalyn A. Wilson, *Transportation in America*, 17a. ed. (Washington, DC: ENO Transportation Foundation, 1999), pág. 19.

Transportación controlada por la compañía

Una alternativa disponible a la subcontratación del transporte de bienes es contar con servicio de transportación mediante la propiedad del equipo o por contratación de servicios de transporte. Idealmente, el usuario espera obtener un mejor desempeño operativo, mayor disponibilidad y capacidad de servicio de transportación, y un menor costo. Al mismo tiempo, se sacrifica cierto grado de flexibilidad financiera, ya que la compañía debe invertir en una capacidad de transportación o deberá comprometerse a un acuerdo contractual de largo plazo. Si el volumen de envíos es alto, puede resultar más económico poseer el servicio de transportación en vez de rentarlo. Sin embargo, algunas compañías son forzadas a adquirir o a contratar la transportación incluso a mayores costos debido a que sus requerimientos especiales de servicio no pueden cubrirse adecuadamente mediante los servicios tradicionales de transporte. Tales requerimientos pueden incluir: 1) rápida entrega con muy alta confiabilidad; 2) un requerimiento especial que no se encuentra disponible por lo general; 3) manejo especial de la carga, y 4) un servicio que se encuentra disponible bajo demanda. Los transportistas tradicionales atienden a muchos clientes y no siempre pueden cumplir los requerimientos específicos de transportación de los usuarios individuales.

Transportación internacional

El éxito de la industria de la transportación para desarrollar sistemas de transporte rápidos, confiables y eficientes ha contribuido en gran medida al creciente nivel (24 veces) de comercio internacional que se ha presentado en los últimos 30 años (sólo un incremento de cerca del triple del ingreso para movimientos internacionales aéreos y marítimos de 1980 a 1996).[17] La transportación económica ha permitido que las compañías locales tomen ventaja de las diferencias de tarifas de mano de obra en el mundo, para conseguir materias primas que se encuentran geográficamente dispersas y para hacer llegar bienes en forma competitiva a mercados distantes de sus fronteras locales. De esta forma, el responsable de logística debe conocer los requerimientos especiales para desplazar bienes a nivel internacional.

Visión general

Los transportistas marítimos dominan la transportación internacional, con más de 50% del volumen de intercambio en dólares y 99% en peso. El transporte aéreo desplaza 21% del volumen de intercambio en dólares y el resto es transportado por camión, ferrocarril y ductos entre los países colindantes.

El dominio de un modo de transporte particular se ve fuertemente afectado por la geografía del país y la proximidad con sus principales socios comerciales. Los países ubicados en islas, como Japón y Australia, deben utilizar modos aéreos y marítimos en gran medida. Sin embargo, muchos de los países miembros de la Unión Europea pueden hacer uso de modalidades de ferrocarril, camión o ductos.

La elección de rutas se vuelve mucho más restringida que para desplazamientos nacionales, ya que los bienes deben desplazarse a través de un número limitado de puertos y puntos aduanales para salir o ingresar a un país. Aunque esto puede hacer más sencilla y obvia la asignación de rutas en comparación con los movimientos nacionales, los problemas que surgen por los requerimientos legales del desplazamiento de bienes entre dos o

[17] *Statistical Abstract of the U.S.:* 1997, pág. 656.

más países y por la mayor limitación de la responsabilidad de los transportistas internacionales en comparación con los nacionales puede hacer que el desplazamiento internacional sea más complejo. Es decir, los envíos internacionales deberán desplazarse bajo una mayor documentación que los envíos locales, y estarán sujetos a retrasos ocasionados por los requerimientos legales para ingresar o abandonar un país, así como a las restricciones de ruta de dos o más países. Además, la responsabilidad limitada del transportista (los transportistas marítimos sólo necesitan proporcionar una embarcación apta para la navegación como evidencia de responsabilidad) ocasiona el uso de mayor empaque protector y mayores costos de aseguramiento y documentación como cobertura contra pérdida potencial. Esto sirve para explicar buena parte de la popularidad de utilizar contenedores para desplazar bienes de alto valor en mercados internacionales.

Planta física

La planta física para transportación internacional difiere sólo en algunos aspectos con respecto del sistema local. El equipo de transportación es del mismo tipo, excepto por el tamaño, que puede diferir en cierta forma. Las rutas físicas son diferentes porque cubren distintos territorios geográficos que las rutas locales. Sin embargo, una diferencia notable es la zona de comercio exterior o puerto libre y el papel que juega en el encauzamiento de los envíos internacionales.

Los gastos, tarifas, aranceles e impuestos del cliente son cuotas que los gobiernos imponen sobre los bienes importados. Éstos con frecuencia se vuelven gravosos para el consignatario, quien puede ver como una desventaja pagar aranceles al país importador en el momento y en la forma en que los bienes se reciben para importación, y el consignatario podría querer utilizar la mano de obra del país importador o su ubicación estratégica para fabricación y almacenamiento, pero tal vez encontraría que esto no es económico debido a los aranceles. Las zonas de comercio exterior, o puertos libres, eliminan esta desventaja para beneficio tanto del país consignatario como el importador. No existe un equivalente directo de la zona de comercio en el comercio local.

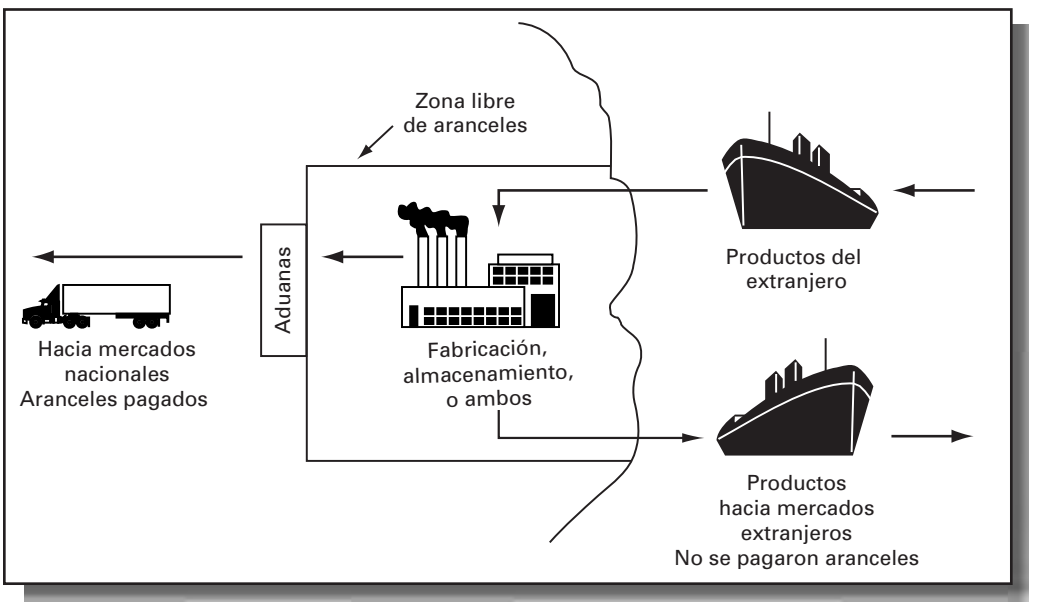
Las zonas de libre comercio son áreas libres de aranceles establecidas en uno o varios puntos de entrada dentro de un país, como puertos marítimos y aeropuertos, donde los bienes extranjeros pueden ingresar, ser mantenidos o procesados en cierta forma, y reenviados sin incurrir en ningún arancel. La figura 6-2 muestra un diagrama de la forma en que operan las zonas de libre comercio. Existen 225 zonas de propósito general y 359 subzonas localizadas en Estados Unidos.[18] Éstas pueden ofrecer numerosas ventajas al encargado de la logística, responsable del desplazamiento internacional de bienes. Las principales ventajas de las zonas de comercio exterior pueden resumirse de la siguiente forma:

1. Los bienes importados pueden permanecer en las zonas de libre comercio para su almacenamiento, manipulación para modificar su clasificación de aduana, ensamblado, exhibición, clasificación, limpieza, venta, mezcla con mercancía extranjera y nacional, reempacado, destrucción, ordenamiento y otros servicios, y luego ser enviados hacia afuera de la zona a otro país son formalidades o control aduanal.
2. Los gobiernos extranjeros pagan aranceles sobre bienes dentro de la zona de libre comercio sólo cuando éstos ingresan al territorio del cliente del país que importa.

[18] Sitio Web de la Asociación Nacional de Zonas de Libre Comercio, en www.naftz.org

3. Los bienes importados que se encuentran inadecuadamente rotulados para su ingreso al mercado doméstico pueden volverse a rotular en las zonas de libre comercio, evitando de esta manera multas sobre los bienes.
4. Los bienes pueden reempacarse en cantidades más pequeñas o grandes.
5. Los bienes que experimentan reducción por descomposición, evaporación o daño no incurren en aranceles sobre la cantidad perdida.
6. En ocasiones pueden obtenerse ahorros mediante el envío de bienes desensamblados hacia la zona, para después ensamblarlos.
7. El capital fijado en aranceles y fianzas puede liberarse para usos más rentables cuando los productos que utilizan materiales extranjeros sujetos a aranceles se envían a las zonas de libre comercio para que permanezcan ahí hasta que se encuentren compradores extranjeros o hasta que los compradores estén listos para la entrega.
8. Los importadores pueden obtener status de comercio exterior privilegiado gracias al cual los aranceles se congelan contra futuros incrementos.
9. La manufactura realizada dentro de las zonas de comercio incurrirá en aranceles sólo sobre los materiales importados y partes componentes del producto terminado que ingresa al mercado local.
10. La propiedad personal tangible por lo general está exenta de impuestos locales y estatales.
11. Los requerimientos de seguridad de aduanas proporcionan protección contra el robo.
12. La mercancía puede permanecer indefinidamente en una zona.[19]

Figura 6-2 Operación de una zona de comercio exterior (libre).



[19] Extraído de un excelente análisis de las zonas comerciales por Gordon E. Miracle y Gerald S. Albaum, *International Marketing Management* (Homewood, IL: Richard D. Irwin, 1970), págs. 438-445; Pat J. Calabro, "Foreign Trade Zones-A Sleeping Giant in Distribution", *Journal of Business Logistics*, Vol. 4, Núm. 1 (1983), págs. 51-64; sitio Web de la Asociación Nacional de Zonas de Libre Comercio, www.naftz.org; y Dick Morreale, "Logistics Rules of Thumb IV", www.logfac.com (agosto de 2001).

Las zonas de libre comercio se vuelven bases adelantadas para los bienes que se desplazan desde mercados extranjeros o proveedores hacia ellos. Las ventajas que éstas ofrecen bien pueden afectar el enrutamiento de los bienes. Los almacenes bajo fianza, tanto públicos como privados, pueden funcionar como zonas de comercio exterior o libre.

Aplicación

Dorcy Internacional Inc., es un ensamblador de linternas, cuyos suministros se importan de China. Históricamente, Dorcy pagaba un arancel de 12.5% sobre las partes, en cuanto éstas llegaban a la Costa Oeste de Estados Unidos. Actualmente, las linternas amarillas y negras se transportan desde China y se envían por ferrocarril hacia la base militar abandonada de Rickenbacker cerca de Columbus Ohio, la cual se ha convertido en una zona de comercio exterior. Al establecer la operación dentro de la zona de comercio de Rickenbacker, Dorcy pospuso los aranceles hasta que los bienes se ensamblaran, empacaran y se enviaran a los clientes, como Sears, Wal-Mart y Kmart, un proceso que puede tardar 30 días. El pago diferido de aranceles puede ahorrar a Dorcy cientos de miles de dólares por año. Y si las linternas se ensamblan y se exportan a otros países, no se pagan aranceles. Para propósitos fiscales, es como si el producto nunca hubiera arribado a Estados Unidos.[20]

Agencias y servicios

Otra característica distintiva de la transportación internacional es el número y variedad de intermediarios, o agentes, que pueden apoyar al consignatario o al comprador involucrado en la transportación internacional. Estos incluyen agentes aduanales, agentes transportistas internacionales, comerciantes exportadores, agentes exportadores, comisionistas exportadores, comisionistas importadores, mayoristas (o intermediarios), corredores, departamentos internacionales de bancos y similares. Cuando se utilizan agentes, éstos ofrecen más servicios que sólo la transportación. Manejan los envíos a través de las fronteras. Esto puede incluir la preparación del papeleo para las aduanas, la coordinación de las inspecciones aduanales, el almacenamiento y consolidación del envío, la optimización de la carga, y el rastreo del envío. Sin embargo, las empresas con importante actividad internacional pueden establecer grupos especiales dentro de su propio departamento de tráfico para manejar los asuntos de transportación internacional.

Ejemplo

Parker-Hannifin Corporation es líder mundial en la manufactura de equipo hidráulico, como mangueras, accesorios, cilindros, sellos, controles y filtros. La fabricación se realiza en Estados Unidos, Europa y Asia con ventas en casi todos los países. Las ventas internacionales se manejan en tres formas. Como se muestra en la figura 6-3, los envíos pueden manejarse mediante un agente (A). El producto se envía por camión a una ubicación de almacén donde los envíos pequeños se consolidan en grandes. Se utiliza un agente trans-

[20] Clarke Ansberry, "For This Midwest City, Slow and Steady Wins Today's Economic Race", *The Wall Street Journal,* 22 de febrero de 2001, pág. A1 en adelante.

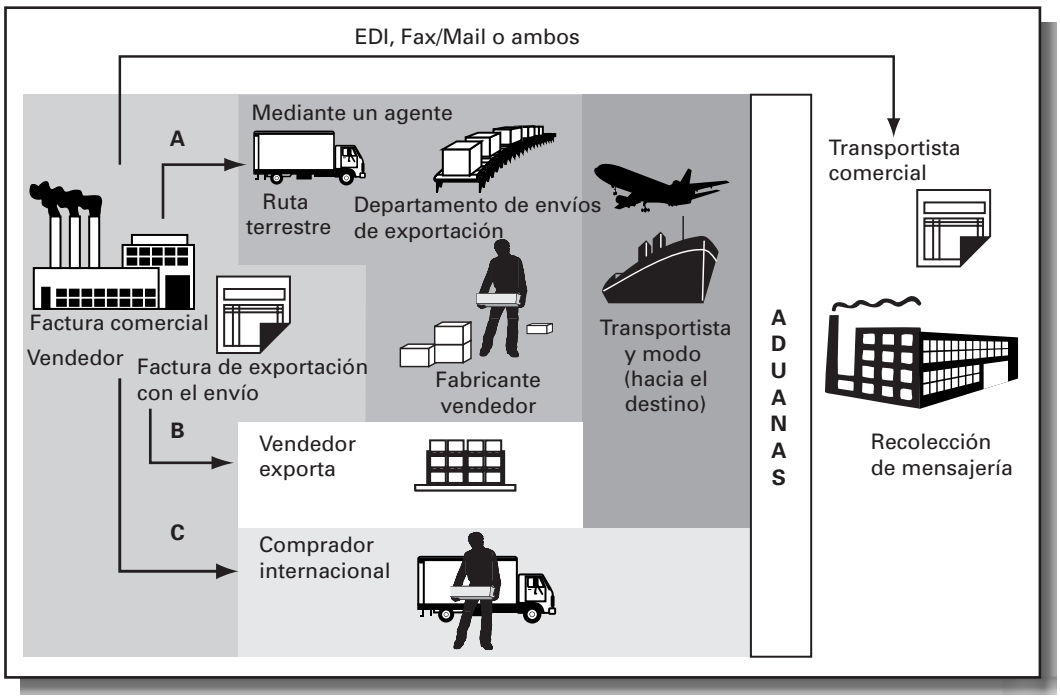


Figura 6-3 Métodos alternativos de envíos para clientes internacionales de Parker-Hannifin Corporation.

portista, ya sea aéreo o marítimo, para transportar los bienes al destino final. La segunda alternativa (B) es enviar directamente con un transportista aéreo o marítimo donde exista suficiente volumen que vaya hacia una región particular. Ésta es una opción razonable cuando los envíos son mayores que los de la opción (A). Por último, se puede utilizar un servicio de mensajería (C) como FedEx o UPS. Esta alternativa es particularmente atractiva para pedidos urgentes. El modo aéreo es el modo dominante utilizado en este caso. La utilización de una variedad de métodos de envío permite que Parker haga corresponder cuidadosamente las consideraciones de eficiencia de envío con las necesidades de servicio de los clientes.

Características del costo de transporte

El precio que el responsable de la logística deberá pagar por los servicios de transportación va aunado a las características de costos de cada tipo de servicio. Debido a que cada servicio tiene distintas características de costos, bajo un conjunto dado de circunstancias existirán ventajas potenciales de tarifas de un modo que no podrán ser efectivamente igualadas por otros servicios.

Costos variables y fijos

Un servicio de transportación incurre en varios costos, como mano de obra, combustible, mantenimiento, terminales, carreteras, administración y otros. La mezcla de costos puede dividirse arbitrariamente en aquéllos que varían con los servicios o el volumen (costos variables) y los que no lo hacen (costos fijos). Naturalmente, todos los costos son variables si se considera un tiempo suficientemente largo y un volumen suficientemente grande. Sin embargo, para propósitos de fijación de precios del transporte, resulta útil considerar los costos que son constantes durante el volumen "normal" de operación del transportista como fijos. Todos los demás costos se tratan como variables.

Específicamente, los costos fijos son aquellos para adquisición y mantenimiento de carreteras, instalaciones de terminales, equipo de transporte y la administración del transportista. Los costos variables por lo regular incluyen los costos de transporte de línea, como combustible y mano de obra, mantenimiento del equipo, manejo, y recolección y entrega. Esta no es una asignación precisa entre los costos fijos y variables, ya que existen importantes diferencias de costos entre los modos de transportación, y existirán diferentes asignaciones dependiendo de la dimensión que se analice. Todos los costos son parcialmente fijos y parcialmente variables, y la asignación de los elementos de costo en una categoría o en otra será cuestión de perspectiva individual.

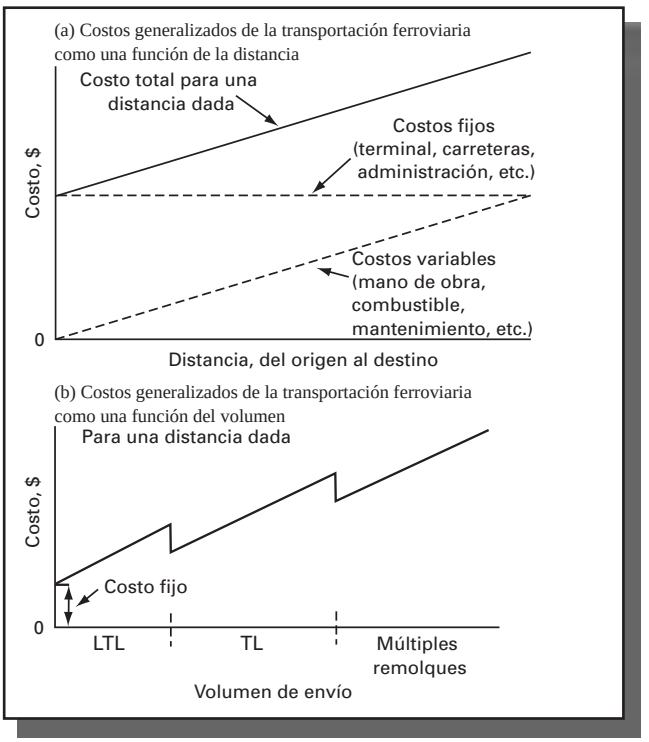
Las tarifas de transportación de línea están basadas en dos dimensiones importantes: distancia y volumen de envío. En cada caso, los costos fijos y variables se consideran en forma ligeramente distinta. Para ilustrar esto, considere las características de costo de ferrocarril. Los costos totales para el servicio varían con la distancia sobre la cual deberá transportarse la carga, como se muestra en la figura 6-4(a). Esto es de esperar, ya que la cantidad de combustible utilizado depende de la distancia, y la cantidad de mano de obra para el transporte está en función de la distancia (tiempo). Estos son costos variables. Los costos fijos son importantes para el transporte ferroviario, ya que el ferrocarril es dueño de sus vías, estaciones terminales y de conmutación, así como del equipo. Estos últimos costos se manejan como invariables ante la distancia recorrida. La suma de los elementos de costos fijos y variables será el costo total.

En contraste, la figura 6-4(b) muestra una función de costo de transportación ferroviaria con base en el volumen del consignatario. En este caso, la mano de obra del transportista de línea no es variable, pero los costos de manejo se tratan como variables. Importantes reducciones en el manejo de envíos, al menos en cantidades de vagón o de tren completo, ocasionan discontinuidades en la curva de costo total, como la ocurrida entre tamaño de envío LTL, TL y de múltiple remolque. Las reducciones de tarifa de volumen por lo general están justificadas para estas caídas en los costos.

Costos comunes o conjuntos

Se mencionó anteriormente que las tarifas razonables de transporte son aquellas que siguen los costos de producir el servicio. Más allá del problema de decidir si un costo es fijo o variable, la determinación de cuáles son los costos reales para un envío particular requiere una distribución de costos algo arbitraria, incluso aunque los costos totales de operación tal vez no se conozcan. El motivo es que muchos de los costos de transportación son indivisibles. Muchos envíos de diferentes tamaños y pesos se desplazan conjuntamente en el mismo transporte. ¿Qué parte del costo deberá asignarse a cada envío? ¿Los costos deberán asignarse con base en el peso del envío de la carga total, en la proporción

Figura 6-4
Costos (e ingresos) generalizados de transportación ferroviaria como funciones del volumen y la distancia.



del volumen total en pies cúbicos utilizados, o sobre alguna otra base? No existe una fórmula simple para la asignación de costos, y los costos de producción sobre una base de envío individual permanecen como una cuestión de juicio.

La transportación de regreso que todos los transportistas experimentan, con excepción del transporte por ducto, es un ejemplo claro. Los transportistas rara vez pueden balancear perfectamente el tráfico entre el desplazamiento de ida y el desplazamiento de vuelta (regreso). Por definición, el desplazamiento de ida es la dirección del tráfico pesado y la transportación de regreso es la dirección del tráfico ligero. A los envíos en la transportación de regreso se les puede asignar su proporción adecuada de los costos totales de producir el transporte de regreso. Esto hace que el costo por envío sea alto en comparación con la transportación de ida. La transportación de regreso puede considerarse como un derivado de la transportación de ida porque se origina a partir de la generación de la transportación de ida. De esta forma, todos, o la mayor parte de los costos se asignarán a los envíos de ida. Los costos de la transportación de regreso se considerarán cero, o se asignarán sólo los costos directos de desplazar un envío en la dirección del transporte de regreso.

Existen muchos peligros en el último enfoque. Por ejemplo, las tarifas en el transporte de ida tienen que establecerse en un nivel que restringirá el volumen en esa dirección. Además, las tarifas del transporte de regreso podrían establecerse en un nivel bajo para ayudar a cubrir algunos gastos fijos. El efecto podría ser que el transporte de regreso obtuviera un importante volumen y quizá sobrepasase al volumen del transporte de ida. De esta forma, un transportista podría encontrarse en la situación de no poder cubrir sus gastos fijos y enfrentarse a ajustes de tarifas que podrían afectar fuertemente el balance de

tráfico. El subproducto se habrá convertido ahora en el producto principal. Además, una importante diferencia en la asignación de costos y en las tarifas que siguen a estos costos pueden llevar a cuestionamientos de discriminación de tarifas entre despachadores de transportación de ida y de regreso. La clave para la discriminación es si el servicio en ambas direcciones se juzga como de iguales condiciones y circunstancias.

Características del costo por modo

El tipo de servicios que tal vez enfatice un transportista estará indicado por la naturaleza de la función general de costos bajo la cual opere y por la relación de la función con la de los otros transportistas.

Transportación ferroviaria

Como transportista de carga y de pasajeros, el ferrocarril posee altos costos fijos y relativamente bajos costos variables. La carga, descarga, facturación y cobro, y la conmutación de estaciones de múltiples productos y múltiples envíos contribuyen a los altos costos de terminal del ferrocarril. El mayor volumen por envío y su efecto sobre la reducción de los costos de terminal generan ciertas economías de escala, es decir, menores costos unitarios para mayores volúmenes por envío. El mantenimiento y la depreciación de las vías, la depreciación de las instalaciones de la terminal y los gastos de administración también se suman al nivel de los costos fijos. Los costos de transportación ferroviaria de línea, o costos variables, por lo regular incluyen sueldos, combustible, aceite y mantenimiento. Los costos variables por definición varían en forma proporcional con la distancia y el volumen; sin embargo, existe cierto grado de indivisibilidad de algunos costos variables (mano de obra, por ejemplo), de manera que los costos variables unitarios disminuirán ligeramente. Por tradición, los costos variables se han tomado como un medio a un tercio de los costos totales; sin embargo existe gran controversia acerca de la proporción exacta.

El efecto neto de altos costos fijos y relativamente bajos costos variables es la creación de importantes economías de escala en los costos de la transportación ferroviaria. La distribución de los costos fijos sobre un mayor volumen por lo general reduce los costos unitarios, como se muestra en la figura 6-5. De igual forma, los costos ferroviarios tonelada-milla descienden cuando los costos fijos se distribuyen sobre mayores extensiones de transporte.

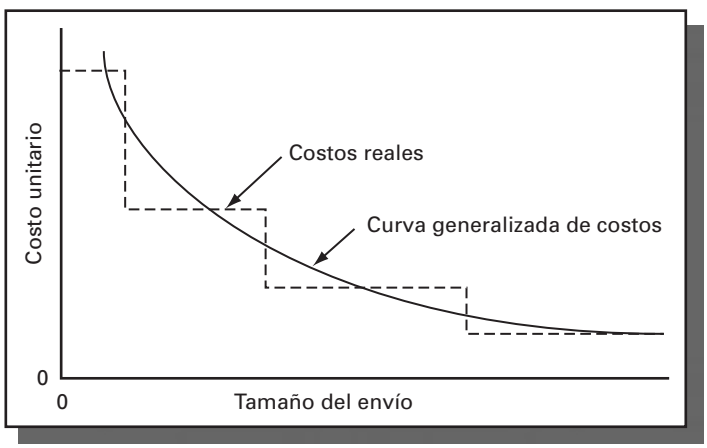


Figura 6-5
Estructura de costos generalizada de un transportista terrestre con base en el tamaño del envío.

Transportación por carretera

Los transportistas motorizados muestran contrastantes características de costos con respecto de los ferroviarios. Sus costos fijos son los menores de cualquier transportista porque ellos no son dueños de las vías sobre las que operan, el tractor-remolque representa una pequeña unidad económica, y las operaciones de terminal no requieren de un equipo costoso. Por otro lado, los costos variables tienden a ser altos debido a que la construcción y mantenimiento de las autopistas se cobran a los usuarios en forma de impuestos de combustible, peaje e impuestos por la relación peso-kilometraje.

Los costos del transporte por camiones principalmente se descomponen en los gastos de terminal y los gastos de transporte de línea. Los gastos de terminal, los cuales incluyen la recolección y el envío, el manejo de plataforma, y la facturación y cobranza, representan 15 a 25% de los gastos totales de este tipo de transportación. Estos gastos, sobre una base de dólares por tonelada, son altamente sensibles a los tamaños de envío por debajo de las 2,000 a 3,000 libras (900 a 1,350 kg). Los gastos de terminal para los envíos mayores de 3,000 libras (1,350 kg) continúan descendiendo a medida que los costos de recolección, entrega y manejo se distribuyen sobre mayores tamaños de envío. Sin embargo, la reducción es mucho menos notable que para tamaños de envío pequeños. Los costos como función del tamaño de envío siguen la misma forma general que se mostró anteriormente en la figura 6-5.

Los costos de transportación de línea representan 50 a 60% de los costos totales. No está claro que los costos unitarios de transportación de línea necesariamente disminuyan con la distancia o el volumen. Sin embargo, los costos unitarios totales disminuyen con el tamaño del envío y la distancia a medida que los costos terminales y otros gastos fijos se distribuyen sobre más toneladas-milla, pero no en forma tan notable como los costos ferroviarios.

Transportación acuática

La principal inversión de capital que un transportista acuático efectúa es el equipo de transporte, y hasta cierto grado las instalaciones de terminal. Los canales navegables y los puertos son de propiedad y operación pública. Una parte menor de estos costos, en especial para las operaciones de canales interiores, se les cobra a estos transportistas. Los costos fijos predominantes dentro del presupuesto de un transportista acuático se relacionan con las operaciones de terminal. Los costos de terminal incluyen las tarifas de puertos, cuando el transportista ingresa al puerto, y los costos de cargar y descargar la mercancía. Los tiempos de carga y descarga son particularmente lentos para los transportistas acuáticos. Los altos costos de estibación ocasionan que los costos terminales sean casi prohibitivos para todo tipo de mercancía, excepto para los artículos a granel y para la carga en contenedores donde es posible utilizar el equipo mecanizado para manejo de materiales en forma efectiva.

Estos costos de terminal, que por lo general son altos, se compensan en cierta forma por los muy bajos costos del transporte de línea. Sin que el usuario pague por el uso de las vías acuáticas, los costos variables incluyen sólo aquellos costos relacionados con la operación del equipo de transporte. Los costos operativos (sin incluir la mano de obra) son particularmente bajos debido a la mínima resistencia al movimiento a bajas velocidades. Con altos costos de terminal y bajos costos de transporte de línea, el costo tonelada-milla cae en forma importante con la distancia y el tamaño del envío. De esta manera, el transporte acuático es el más económico para artículos a granel a largas distancias y con un volumen sustancial.

Transportación aérea

La transportación aérea cuenta con muchas de las mismas características de costos que la transportación marítima y por carretera. Las aerolíneas por lo regular no son dueñas del espacio aéreo ni de las terminales aéreas. Adquieren servicios aeroportuarios según lo re-

quieren en forma de combustible, almacenamiento, renta de espacio y tarifas de aterrizaje. Si incluimos el manejo terrestre así como la recolección y entrega en el caso de operaciones de carga aérea, estos costos serán los costos de terminal para la transportación aérea. Además, las aerolíneas poseen (o rentan) su propio equipo, el cual, al depreciarse durante su vida económica, se convierte en un gasto fijo anual. En el corto plazo, los gastos fijos de la aerolínea se encuentran más influenciados por la distancia que por el tamaño del envío. Ya que una aeronave presenta su mayor ineficiencia en las fases de operación de despegue y aterrizaje, los costos variables se reducen por la longitud de la transportación. El volumen ha influido en forma indirecta en los costos variables en la medida que una mayor demanda de servicios de transportación aérea han ocasionado el uso de aeronaves más grandes que cuentan con menores costos de operación por tonelada-milla disponible.

Los gastos fijos y los variables combinados por lo general hacen de la transportación aérea un servicio de primera, en especial para distancias cortas; sin embargo, la distribución de los gastos de terminal y otros cobros fijos sobre un mayor volumen ofrece cierta reducción de los costos unitarios. Las importantes reducciones en los costos unitarios provienen de la operación de aeronaves sobre largas distancias.

Transportación en ductos

La transportación en ductos es semejante a la ferroviaria en sus características de costos. Las compañías de transportación por ductos, o las compañías petroleras dueñas de los ductos, poseen tanto los ductos como las terminales y el equipo de bombeo. Pueden ser dueños o rentar el derecho de paso por los ductos. Estos costos fijos, junto con la suma de otros costos, otorgan a este transporte la mayor proporción de costo fijo a costo total que cualquier otro modo de transporte. Para ser competitivos, los ductos deben funcionar mediante altos volúmenes, sobre los cuales se distribuyan estos altos costos fijos.

Los costos variables incluyen principalmente la energía para mover el producto (por lo general petróleo crudo o productos refinados del petróleo) y los costos relacionados con la operación de las estaciones de bombeo. Los requerimientos de energía varían en forma marcada, dependiendo de la capacidad de la línea y del diámetro de los ductos. Los más grandes tienen una circunferencia proporcionalmente menor que el área transversal en comparación con los ductos más pequeños. Las pérdidas por fricción y por tanto la potencia de bombeo se incrementan con la circunferencia de los ductos, y el volumen aumenta con el área transversal. Como resultado, los costos por tonelada-milla disminuyen sustancialmente con mayores ductos, si existe suficiente capacidad para justificar los ductos mayores. También existen rendimientos decrecientes a escala si se fuerza un volumen demasiado grande para pasar a través de ductos de un tamaño dado. Estas características generales de costos se muestran en la figura 6-6.

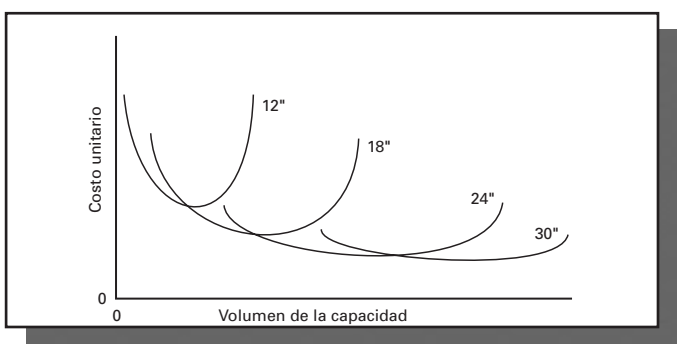


Figura 6-6
Costos generalizados de la transportación por ductos como funciones del diámetro y del volumen.

PERFILES DE TARIFAS

Las tarifas de transporte son los precios que los transportistas por contrato cobran por sus servicios. Se utilizan distintos criterios para desarrollar tarifas bajo una variedad de situaciones de precios. Las estructuras más comunes de tarifas se relacionan con el volumen, la distancia y la demanda.

Tarifas relacionadas con el volumen

Las economías de la industria del transporte demuestran que los costos del servicio se encuentran relacionados con el tamaño del envío. Las estructuras de tarifas en general reflejan estas economías, en cuanto a que los envíos con volúmenes consistentemente altos son transportados a menores tarifas que envíos más pequeños. El volumen se refleja en la estructura de tarifas en varias formas. En primer lugar, las tarifas pueden cotizarse directo sobre la cantidad enviada. Si el envío es pequeño y genera un ingreso muy pequeño para el transportista, el envío será gravado con un cobro mínimo o con una tarifa para cualquier cantidad. Los envíos más grandes que generan cobros mayores que el mínimo pero menores que una cantidad de vehículo de carga completa se cobran a una tarifa menor que un vehículo de carga y que varía con el volumen en particular. Los tamaños de envío más grandes que equivalen o exceden la cantidad de un vehículo de carga predeterminado se cobran a la tarifa de vehículo de carga.

En segundo lugar, el sistema de clasificación de carga permite cierta bonificación por volumen. El volumen alto puede considerarse una justificación para cobrar al expedidor tarifas especiales sobre artículos de consumo particulares. Estas tarifas especiales se consideran variaciones con respecto de las tarifas regulares que se aplican a los productos enviados en menor volumen.

Las estructuras de tarifas relacionadas con el volumen son más complejas que lo que indica este análisis. Sin embargo, debido a que gran parte de la siguiente sección sobre las tarifas de transporte tiene que ver con el volumen, se pospondrá un mayor análisis más adelante en este capítulo.

Tarifas relacionadas con la distancia

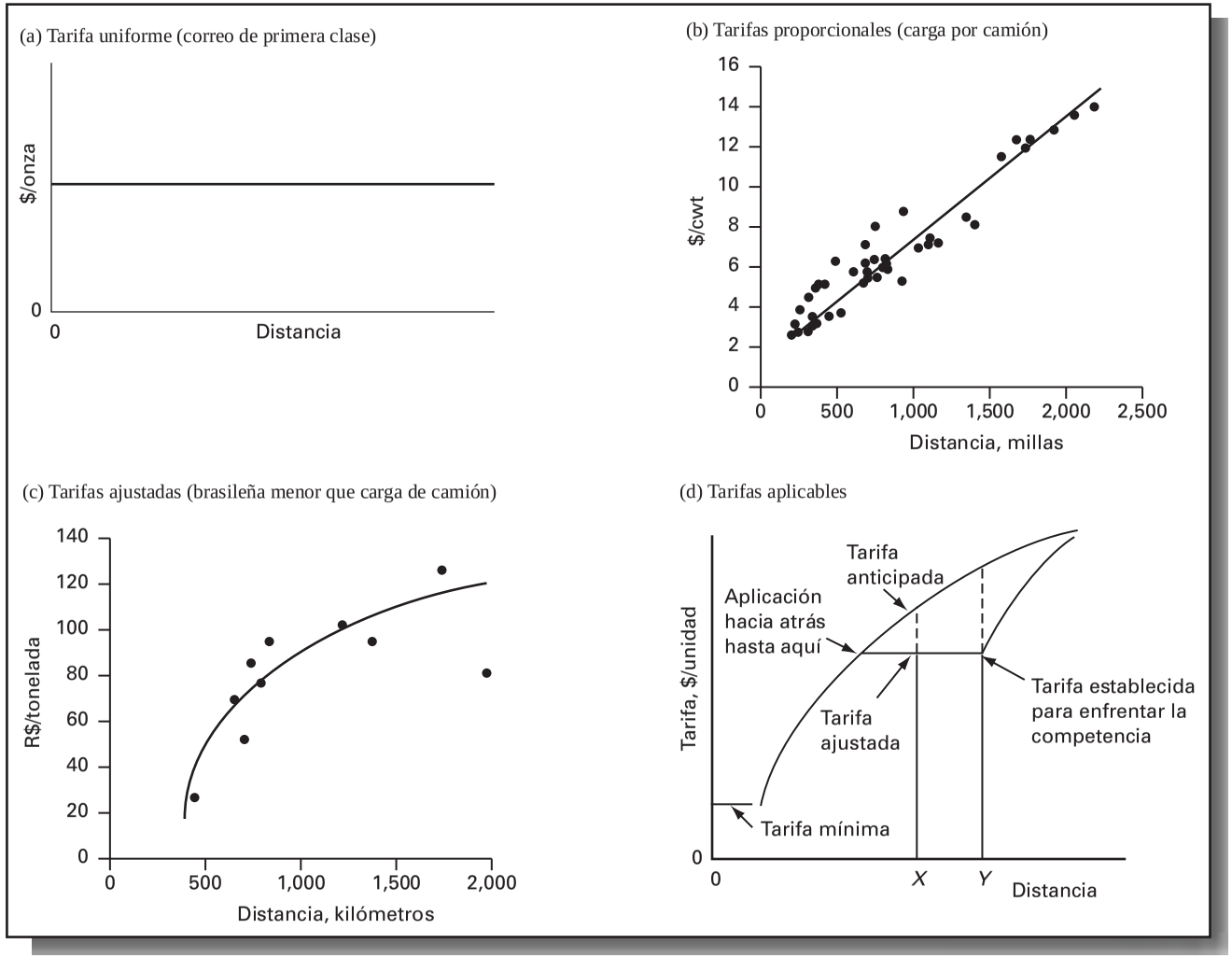
Las tarifas, como función de la distancia, van desde ser completamente invariables con la distancia hasta variar directamente con ella, con la mayor parte de las estructuras de tarifas entre estos extremos.

Tarifas uniformes

La simplicidad puede ser un factor clave para establecer una estructura de tarifa. La más simple de todas es la estructura de tarifa uniforme en la que existe una tarifa de transporte para todas las distancias de origen a destino [figura 6-7(a)]. Un ejemplo de esto son las tarifas de franqueo de primera clase en Estados Unidos. La estructura uniforme de tarifa para el correo se justifica debido a que gran parte del costo total de la entrega de correo es el manejo. Los costos de manejo se relacionan con el envío, no con la distancia. Por otro lado, la utilización de una estructura de tarifa uniforme para la transportación por carretera, donde los costos de transporte de línea son al menos 50% de los costos totales, haría surgir serios cuestionamientos de discriminación de tarifas.[21]

[21] Se supone que la discriminación se presenta cuando las tarifas no siguen los costos de producción del servicio en cuestión.

Figura 6-7 Cuatro estructuras de tarifas de carga relacionadas con la distancia.



Tarifas proporcionales

Para transportistas con importantes componentes de costos de transporte de línea (camiones y en menor grado servicio aéreo), la estructura de tarifa proporcional ofrece un acuerdo entre la simplicidad de la estructura de tarifa y los costos del servicio [figura 6-7(b)]. Al conocer sólo dos tarifas, es posible determinar las demás tarifas para un artículo de consumo mediante extrapolación de línea recta. Aunque existen algunas ventajas obvias de esta estructura simple, discrimina en forma adversa contra el consignatario o remitente de recorridos largos en favor del consignatario o remitente de recorridos cortos. Los cargos terminales no se recuperan en el recorrido corto. Las tarifas de transporte por camión pueden tener esta característica, ya que los costos de manejo son mínimos.

Tarifas graduales

Una estructura común de tarifa se construye sobre el principio de graduación. Ya que en Estados Unidos los cobros de terminal por lo regular se incluyen en los cobros del transporte de línea, una estructura de tarifa que siga a los costos mostrará tarifas que se incrementan con la distancia pero a un ritmo decreciente, como se muestra en la figura 6-7(c). El principal motivo para esta forma es que con mayor distancia del envío, los costos terminales y otros cobros fijos se distribuyen sobre más kilómetros. El grado de ajuste dependerá del nivel de los costos fijos que el transportista tenga y del nivel de economías de escala en las operaciones de transporte de línea. Por ello, si sólo las economías dictan la estructura de tarifas, lógicamente podríamos esperar un mayor ajuste para el ferrocarril, el transporte marítimo y los ductos que para el transporte aéreo y por carretera.

Tarifas generales

El deseo de alcanzar las tarifas de los competidores y de simplificar la publicación y administración de tarifas llevó a los transportistas a establecer estructuras de tarifa generales. Las tarifas "generales" simplemente son tarifas sencillas que cubren una amplia área en el origen, el destino o en ambos. La estructura resultante de tarifa se ilustra en la figura 6-7(d), con la meseta como área de tarifa de agrupamiento o aplicable. Las tarifas aplicables son más comunes para productos que se transportan largas distancias y cuyos productores o mercados se encuentran agrupados en ciertas áreas. Tales productos incluyen granos, carbón, madera y productos agrícolas de California que se venden en los mercados del Este de Estados Unidos. Incluso las tarifas de paquetería postal y UPS que se cotizan para amplias zonas radiadas desde el origen son una forma de tarifas de transportación tipo aplicables.

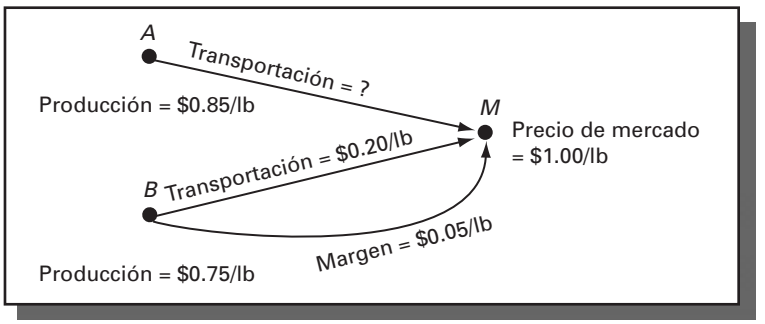
Lo aplicable de este tipo es una forma de discriminación de tarifas, pero los beneficios de la simplificación en las tarifas, tanto para transportistas como consignatarios, compensan las desventajas. Además, por lo general ofrece a los usuarios de servicios de transportación una selección más amplia de transportistas.

En ocasiones, la competencia obliga a que las tarifas para una ruta sean menores que lo que normalmente se podría anticipar a partir de la estructura de tarifa general y del perfil de costos. Observe el punto *Y* en la figura 6-7(d). Ofrecer la menor tarifa en *Y* puede crear una situación donde los puntos delante de *Y*, como *X*, sufrirían un tratamiento de tarifa aparentemente injusto. Los transportistas querrían eliminar este tipo de inequidad de tarifa haciendo que la tarifa de *X* y de todos los demás puntos delante de *Y*, que tendrían una tarifa mayor que la de *Y*, igualaran a la tarifa de *Y*. Este proceso se denomina *aplicación hacia atrás.*

Tarifas relacionadas con la demanda

La demanda o el valor del servicio también puede dictar los niveles de tarifas manteniendo poca relación con los costos de producir el servicio de transportación. Aquí se demues-

Figura 6-8
Valor del servicio de transportación



tra que los usuarios dan mucho valor a la transportación. Por ello, las tarifas no pueden exceder un límite superior si el usuario va a contratar al transportista en cuestión. Hay dos dimensiones que sugieren el valor del servicio de transportación para un consignatario: las circunstancias económicas propias del consignatario y los servicios de transportación alternativos disponibles.

Ejemplo

Los productores *A* y *B* fabrican y promueven un producto que se vende en $1 por libra en el mercado *M*, como se ilustra en la figura 6-8.

Los gastos de *A*, además de los costos de transportación, son 85¢ por libra y los de *B* son 75¢ por libra. *B* puede obtener una utilidad de 5¢ por libra sobre el producto que se vende a $1 por libra. Ya que *B* establece el precio, lo máximo que *A* puede razonablemente pagar por transportación es 15¢ por libra, en tal tarifa no habría utilidad. Esto es lo máximo que el servicio de transportación vale para *A*. Si las tarifas se establecen por arriba de este nivel, el producto no se desplazará.

La segunda dimensión se observa en las dos alternativas de servicio disponibles para *B*. Si se asume que ambas alternativas tienen iguales características de desempeño, el valor del servicio para *B* será la tarifa más baja. El servicio de alto precio tendría que adaptarse a la tarifa de 20¢ por libra para ser competitivo y desplazar parte del producto. Por ello, la demanda o la competencia establecen el nivel de la tarifa. Las tarifas competitivas con base en el valor del servicio tienden a distorsionar las estructuras de tarifas orientadas a costos y a incrementar las complejidades de la cotización, administración y publicación de tarifas.

Tarifas de transporte de línea

Los precios del transporte pueden clasificarse como tarifas para los servicios de transporte de línea o como cobros de servicio especial. Las tarifas de transporte de línea se refieren a los cargos incurridos entre las terminales de origen y destino, o puerta a puerta en el caso de los servicios de transporte de camiones. Los cargos de servicio especial son los precios de servicios adicionales, como los servicios de terminal, servicios de parada y detención de equipo del transportista. Las tarifas de transporte de línea pueden clasificarse útilmente por producto, tamaño del envío, ruta o varios.

Por producto

Si se cotizara una tarifa individual para cada artículo entre todas las combinaciones de puntos de origen-destino para todos los servicios de transporte, se obtendría un número muy grande de tarifas no muy práctico de administrar. Para reducir sustancialmente el número de tarifas se diseñó un sistema de clasificación de producto en el que la mayor parte de los artículos se asignan a una de las 31 categorías, que van de la categoría 13 a la 400. Se asignaron tarifas para la categoría 100, y las tarifas sobre los productos con diferentes niveles de clasificación se obtuvieron en general como un porcentaje de la tarifa de la categoría 100. En la actualidad, los transportistas no siguen esta fórmula de manera exacta, sino que publican las tarifas para categorías específicas de producto.

En algún momento hubo varios esquemas de clasificación de producto, los cuales diferían dependiendo del territorio del país al que se aplicaban. A partir de los años 1950, muchos transportistas ferroviarios, de camiones y marítimos adoptaron un solo código de clasificación en la Uniform Freight Classification de Estados Unidos. Los transportistas de camiones también utilizan un esquema de clasificación similar de producto de la National Motor Freight Classification, pero con dos importantes excepciones: 1) aquellos productos que no se espera que se desplacen por camión, quedan excluidos, y 2) existen 18 categorías LTL que van de la 50 a la 500. Los transportistas marítimos utilizan una fórmula de peso-espacio o basan sus tarifas en las clasificaciones de producto ferroviarias o de transporte por camión. Los agentes transportistas utilizan la clasificación de los transportistas ferroviarios-camioneros. La naturaleza de un solo producto de ducto no requiere clasificación. La clasificación de los productos que se desplazan por aire no está difundida, y no cuenta con un sistema disponible de clasificación nacional de productos. La tabla 6-4 muestra una sección de la National Motor Freight Classification.

En la práctica, no todos los artículos se enumeran en forma separada en la clasificación ni tienen una tarifa específica. Tanto la clasificación de transporte ferroviario como la de camiones contemplan esto al agrupar bajo un encabezado a todos los productos no descritos individualmente en las clasificaciones, y denominan a estos productos como No Indexados (NOI, por sus siglas en inglés).[22] Todos los productos NOI cuentan con una sola especificación de tarifa. En la tabla 6-4 aparecen varios ejemplos de la clasificación NOI.

Bajo ciertas circunstancias, las tarifas de producto se desvían con respecto de las enumeradas en la clasificación y se denominan "excepciones a la clasificación". Estas excepciones tienen preferencia sobre las tarifas publicadas y por lo general son menores que las tarifas de categoría. Se establecen para reflejar condiciones especiales, sobre todo condiciones de competencia y de operación que no pueden materializarse bajo una clasificación que debe proporcionar una especificación de tarifa promedio para los productos enviados bajo circunstancias promedio.

Se consideran varios factores con base en *densidad, capacidad de almacenamiento, facilidad de manejo* y *responsabilidad* para establecer la especificación de categoría de un producto. Estos factores pueden incluir lo siguiente:

- Peso por pie cúbico según empaque para envío
- Valor por libra (o kilogramo) según empaque para envío
- Responsabilidad ante pérdida, daño, desperdicio o robo en el tránsito
- Probabilidad de daño a otra carga con la que pudiera tener contacto
- Riesgos debidos a peligros de transporte

[22] NOI se utiliza específicamente en la National Motor Freight Classification. La Uniform Freight Classification utiliza NOIBN (por sus siglas en inglés, para referirse a lo mismo, y significa "no indexada por nombre".

- Tipo de contenedor o empaque en relación con la responsabilidad o el riesgo
- Gasto de manejo y cuidado en el mismo
- Especificaciones de tarifas sobre artículos análogos
- Relación justa de tarifas entre todos los artículos
- Competencia entre los artículos de diferente descripción pero utilizados principalmente para propósitos similares
- Condiciones comerciales y unidad de ventas
- Condiciones de intercambio
- Valor del servicio
- Volumen de movimiento para todo el país[23]

La provisión de actos para desregular transporte puede ocasionar que se utilicen menos factores para propósitos de clasificación.

Tarifas de clase

Un acompañante para la clasificación de peso es la tarifa, o lista de precios de transporte. Una vez que el producto tiene una especificación de tarifa de clase, entonces se podrán determinar los cobros del transporte de línea.

La tarifa de clase está en función de la distancia entre el origen del envío y los puntos de destino así como de otros factores. Las distancias de envío sobre las que se basan las tarifas se fundamentan en el uso de tablas de distancia estándar, como la *Household Goods Movers Guide*, la *Rand-McNally Mileage Guide* y otras guías de kilometraje aceptables tanto para el consignatario o remitente como para el transportista. En estas guías con frecuencia se utilizan los códigos postales para hacer referencia a la ubicación de los puntos de origen y destino. Esto permite el agrupamiento de muchas direcciones en un número manejable de puntos de referencia, y al mismo tiempo ofrece distancias representativas aceptablemente precisas. De esta forma podrá construirse una tabla en donde las tarifas varíen según el código postal (distancia) y la tarifa de categoría, como se muestra en la tabla 6-5.

Los consignatarios no siempre pagan las tarifas para las cantidades exactamente, como se muestra en la tabla 6-4. Esto es, si un envío constituyera más de 9,000 libras (4,100 kg), no necesariamente se utilizaría la tarifa para un peso intermedio > 5,000 libras (2,250 kg). Los transportistas permiten que el tamaño del envío se declare en la cantidad del siguiente nivel más alto y que esa tarifa se utilice si es que los cobros totales son menores que los obtenidos con el cálculo directo. Entre cada peso intermedio existe cierta cantidad que ofrece esta ventaja. La cantidad a la que ocurre el intermedio se obtiene mediante la fórmula

$$\textit{Intervalo de peso} = \frac{\textit{Tarifa}_{\textit{Siguiente}} \times \textit{Peso}_{\textit{Siguiente}}}{\textit{Tarifa}_{\textit{Actual}}} \qquad \textbf{(6-1)}$$

donde

$\textit{Peso intermedio}$ = peso por encima del cual se deberá utilizar el siguiente peso intermedio más alto para disminuir los costos de transporte
$\textit{Tarifa}_{\textit{Siguiente}}$ = tarifa para el siguiente peso intermedio más alto
$\textit{Peso}_{\textit{Siguiente}}$ = peso mínimo del siguiente peso intermedio más alto
$\textit{Tarifa}_{\textit{Actual}}$ = Tarifa para el peso real del envío

[23] Charles A. Taff, *Management of Physical Distribution and Transportation*, 6a. ed. (Homewood, IL.: Richard D. Irwin, 1978), págs. 356-357.

Tabla 6-4 National Motor Freight Classification para productos seleccionados

Número de artículo	Descripción	Menos que una carga de camión	Carga de camión	Peso mínimo, libras
	GRUPO ABRASIVO:			
	Alundum, corundum, esmeril y otros materiales abrasivos naturales o sintéticos, que consisten principalmente en óxido de aluminio o carburo de silicio			
1070-00	Crudo o en masa, LTL, en bolsas, barriles o cajas: TL, suelto o en paquetes	55	35	50,000
1090-00	Harina o grano, en paquetes	55	35	36,000
2010-00	Desperdicios, incluyendo llantas rotas, cabos de llantas o llantas destruidas, en paquete, también TL sueltos	55	35	40,000
2030-00	Llantas, molido de pulpa, sobre rodillos o en cajas o canastas	55	40	30,000
2055-00	Tela o papel, abrasivo, incluyendo tela de esmeril, o papel o lija, en paquetes	55	37.5	36,000
2070-00	Accesorios o mobiliario de gato o perro, en cajas y que tienen una densidad de libras por pie cúbico de:			
2070-01	Menos de 1	400	400	CC[a]
2070-02	1 pero menos de 2	300	300	CC[a]
2070-03	2 pero menos de 4	250	250	CC[a]
2070-04	4 pero menos de 6	150	100	12,000
2070-05	6 pero menos de 8	125	85	15,000
2070-06	8 pero menos de 10	100	70	18,000
2070-07	10 pero menos de 12	92.5	65	20,000
2070-08	12 pero menos de 15	85	55	26,000
2070-09	15 o mayor	70	40	36,000
	GRUPO DE PUBLICIDAD:			
	Material de publicidad, NOI, prepagado, en paquetes			
4660-01	Tela o tela sintética	85	55	24,000
4660-02	Papel o cartón, otros corrugados o acanalados	70	40	30,000
4740-00	Almanaques, prepagados, en paquetes	77.5	55	24,000

Número de artículo	Descripción	Menos que una carga de camión	Carga de camión	Peso mínimo, libras
4745-00	Bolsas de viaje, guantes, visores de casco o esterillas, tela impresa con propaganda, prepagada, en cajas	100	70	20,000
4800-00	Calendarios prepagados:			
4800-01	Tela en empaques; o acero, celuloide cubierto, en cajas	85	55	24,000
4800-02	Papel o pulpa, en paquetes	70	55	24,000
4850-00	Catálogos, prepagados; o partes o secciones de catálogo, papel prepagado; en paquetes	60	35	40,000
4860-00	Circulares, libros, folletos, trípticos, panfletos, hojas o listas de precios			
4860-01	Impreso completamente sobre papel de periódico	60	35	30,000
4860-02	No impreso completamente sobre papel de periódico	77.5	55	24,000
4920-00	Exhibidores, que consisten en frentes de ladrillo o baldosa, techo, tejas, tablas protectoras o azulejo; montado sobre páneles, prepagados, en bolsas o canastas	70	55	24,000
4960-00	Exhibidores, artículos de imitación, como cubos de mantequilla, frutas, vegetales o carnes de imitación, prepagados, en cajas o canastas	100	70	20,000
4980-00	Exhibidores, figuras o imágenes, hule, NOI, distinto a la espuma de caucho, prepagados, en cajas o canastas	100	70	20,000

[a] CC se refiere a Cualquier Cantidad.

Fuente: Adaptado de Southern Motor Carriers' PC FastClass Software.

Tabla 6-5 Tarifas no descontadas, menores que la carga completa de camión para la categoría 100 de desplazamiento de producto desde la ciudad de Nueva York hacia el destino seleccionado

C.P.	Ubicación	Mín.[a]	<500[b]	≥ 500[c]	≥ 1,000[c]	≥ 2,000[c]	≥ 5,000[c]	≥ 10,000[c]	≥ 20,000[c]	≥ 30,000[c]	≥ 40,000[d]
021	Boston MA	9,768	5,877	4,636	3,474	3,075	2,444	1,742	1,009	733	687
029	Providence RI	9,351	5,401	4,276	3,203	2,866	2,271	1,592	882	662	601
041	Portland ME	8,460	5,854	4,597	3,441	3,206	2,537	2,269	1,321	965	931
122	Albany NY	12,838	6,665	5,288	4,038	3,459	2,971	2,218	1,315	1,022	980
152	Pittsburgh PA	13,263	6,957	5,246	4,015	3,446	2,976	2,215	1,265	970	945
194	Philadelphia PA	10,825	5,132	4,069	3,071	2,561	2,083	1,423	735	554	525
198	Wilmington DE	11,110	5,290	4,195	3,174	2,648	2,167	1,501	805	619	567
200	Washington DC	13,262	6,890	5,553	4,310	3,666	3,069	2,235	1,293	988	936
212	Baltimore MD	11,084	5,579	4,421	3,361	2,843	2,373	1,689	942	716	674
232	Richmond VA	11,296	6,158	4,899	3,744	3,218	2,756	2,021	1,154	875	860
282	Charlotte NC	12,973	6,502	5,992	4,873	3,867	3,082	2,521	1,217	979	876
292	Columbia SC	13,248	6,842	6,310	5,146	4,099	3,271	2,709	1,385	1,110	998
303	Atlanta GA	14,826	8,196	7,494	6,114	4,965	3,973	3,344	1,836	1,490	1,336
331	Miami FL	14,396	9,142	8,495	6,779	5,575	4,290	4,200	2,278	1,829	1,654
336	Tampa FL	14,081	8,664	8,046	6,416	5,232	4,037	3,948	2,131	1,708	1,545
379	Memphis TN	13,313	6,928	6,395	5,214	4,159	3,320	2,758	1,429	1,141	1,030
402	Louisville KY	12,787	7,474	6,425	4,787	4,323	3,546	2,784	1,905	1,625	1,422
432	Columbus OH	12,276	6,856	5,902	4,340	3,920	3,221	2,483	1,702	1,450	1,268
441	Cleveland OH	12,161	6,710	5,781	4,238	3,826	3,142	2,412	1,656	1,409	1,229
452	Cincinnati OH	12,504	7,112	6,118	4,525	4,085	3,354	2,608	1,784	1,526	1,330

462	Indianápolis IN	12,672	7,331	6,301	4,683	4,229	3,471	2,713	1,860	1,584	1,384
482	Detroit MI	14,808	8,639	7,418	5,598	5,017	4,143	3,308	2,411	2,069	1,805
532	Milwaukee WI	13,097	7,848	6,739	5,051	4,564	3,738	2,963	2,028	1,727	1,511
554	Minneápolis MN	14,165	9,043	7,754	5,901	5,339	4,334	3,520	2,414	2,059	1,807
606	Chicago IL	15,128	8,451	7,379	5,586	4,999	4,093	2,856	1,957	1,664	1,458
631	St. Louis MO	13,289	8,074	6,927	5,213	4,707	3,855	3,069	2,104	1,793	1,565
701	Nueva Orleans LA	17,032	10,849	9,530	7,720	6,402	5,100	3,750	2,028	1,625	1,462
722	Little Rock AR	13,993	8,851	7,587	5,760	5,203	4,249	3,435	2,353	2,007	1,756
731	Oklahoma City OK	14,976	9,886	8,463	6,486	5,864	4,785	3,923	2,690	2,290	2,006
752	Dallas TX	17,353	10,775	9,226	7,114	6,414	5,221	4,011	2,748	2,343	2,052
782	San Antonio TX	17,313	11,882	10,139	7,863	7,095	5,799	4,831	3,380	2,895	2,534
802	Denver CO	16,345	11,830	9,543	7,949	6,895	6,072	4,685	4,140	3,602	3,367
850	Phoenix AZ	18,650	13,626	10,987	9,161	7,945	6,991	5,461	4,812	4,185	3,912
900	Los Ángeles CA	20,614	14,954	12,094	10,092	8,727	7,672	6,065	5,365	4,660	4,341
921	San Diego CA	19,560	14,345	11,555	9,632	8,349	7,356	5,764	5,097	4,434	4,145
933	Bakersfield CA	18,778	13,803	11,094	9,274	8,033	7,091	5,541	4,893	4,247	3,992
946	Oakland CA	18,931	13,927	11,192	9,355	8,102	7,153	5,595	4,938	4,290	4,030
972	Portland OR	19,725	14,473	11,657	9,720	8,424	7,424	5,819	5,144	4,472	4,184
981	Seattle WA	18,896	14,173	11,389	9,519	8,247	7,286	5,709	5,031	4,376	4,115

[a] Cobro mínimo en centavos (¢)
[b] Tarifas en centavos por ciento de libras (¢/cwt.)
[c] Cuando un cobro calculado al peso real excede al cobro calculado al siguiente peso intermedio, se aplicará el menor.
[d] Los cobros serán los menores que puedan calcularse, ya sea utilizando la tarifa LTL aplicable al peso real o estimado, o utilizando las tarifas TL.
Fuente: Tarifas publicadas por Yellow Freight System, Inc.

Ejemplo

Suponga que 15,000 libras (6,800 kg) de delantales utilizados como material publicitario se enviarán por camión de la ciudad de Nueva York a Detroit, Michigan. La clasificación de categoría para este producto (artículo 4745-01 en la tabla 6-4) es 100. A partir de la lista de tarifas de un camionero (tabla 6-5) se observa que la tarifa de la clase 100 es $33.08 por cwt para envíos entre 10,000 y 20,000 libras y $24.11 por cwt para envíos mayores de 20,000 libras. El transportista ofrece un descuento de 60% con respecto de la lista de tarifas. Se calcula el intervalo del peso como (24.11 × 20,000) ÷ 33.08 = 14,576 libras. Dado que el envío es mayor que 14,576 libras, se envía como si fuera de 20,000 libras utilizando la tarifa de $24.11/cwt. Por ello, los cargos de envío son $24.11 × 200 cwt = $4,822.00. Tomando el descuento de 0.60 × $4,822.00 = $2,893.20. El cargo neto será $4,822.00 – 2,893.20 = $1,928.80.

Recuerde que la tarifa de clasificación es similar a los precios de lista que se encuentran en muchos productos. Estas tarifas son ampliamente difundidas y por lo general conocidas entre consignatarios y transportistas. Pueden obtenerse en los sitios Web de distintos transportistas o en discos que se suministran gratuitamente por los transportistas. Entre los transportistas, las tarifas de lista son muy similares y ofrecen poco material para una competencia. Por ello, es una práctica común para los transportistas ofrecer intensos descuentos sobre estas tarifas, con objeto de ofrecer tarifas atractivas para obtener el negocio de un consignatario. Los descuentos con frecuencia van de 40 a 70 por ciento. La tasa de descuento es negociada entre el remitente y el transportista.

Aplicación

Una compañía química produce y envía una alta proporción de sus productos de pinturas y de prevención de corrosión, del área de Clevaland, Ohio, a numerosos puntos a lo largo de Estados Unidos. La mayor parte de los envíos son pequeños y en pesos menores que la carga completa de un camión. Ni los envíos tienen el peso suficiente ni se mandan sólo a unos cuantos puntos como para justificar que sus camioneros ofrezcan tarifas especiales. En vez de ello, los camioneros permiten 40% de descuento con respecto de la tarifa de clasificación para retener a este cliente valioso.

Tarifas de contrato

Aunque la estructura de las tarifas de clase ofrece una forma general con la que pueden determinarse las tarifas para un amplio rango de mercancía, muchos transportistas cotizan tarifas especiales a los consignatarios. Estas tarifas reflejan varias circunstancias alrededor de un envío individual o de un remitente, como el volumen del (los) envío(s), la dirección del desplazamiento, y el valor general como cliente. Estas tarifas pueden o no construirse sobre una base sistemática. Las tarifas de contrato tienen como objetivo tener prioridad sobre las tarifas de clase más generales. Éstas pueden ser tarifas especiales y únicas que reflejan situaciones de envío individuales.

Antes de la desregulación de la transportación, las tarifas de mercadería eran tarifas especiales cotizadas en la tarifa general para representar circunstancias especiales de envío que no se cubrían por la estructura de tarifa de clase general. Estas tarifas eran menores que las tarifas de clasificación y tenían prioridad sobre ellas. Desde la desregulación,

las tarifas de mercadería parecen estar desapareciendo a favor de la tarifa de contrato, que tiene el mismo propósito.

Para el grueso de las millas totales enviadas en la economía se utilizan estas tarifas cotizadas especialmente. Sin embargo, la mayor parte de los envíos pequeños utilizan las tarifas generales de clasificación por simplicidad en la cotización de tarifas.

Carga de todo tipo

Cuando los transportistas cotizan tarifas para un envío sin importar la clasificación de los artículos que forman el envío, esta tarifa se conoce como tarifa de carga de todo tipo (FAK, freight-all-kinds) o tarifa de todo artículo (ACR, all-commodity rate). Los agentes transportistas son usuarios frecuentes de este tipo de tarifa porque ellos principalmente tratan con envíos mixtos. Las tarifas siguen a los costos de proporcionar el servicio de transporte en vez de seguir al valor del servicio.

Por tamaño de envío

Las tarifas y los cargos reales de transporte varían dependiendo de la cantidad ofrecida, es decir, del tamaño del envío. Las tarifas se cotizan en una base de dólar-por-ciento-de-libras (cwt) y pueden ser diferentes dependiendo del lugar donde el tamaño del envío cae en relación con las cantidades mínimas recomendadas establecidas en la tarifa general. Cualquier número de cantidades mínimas puede aparecer en la tarifa. Puede haber múltiples cantidades mínimas, por ejemplo, mínimos de 5,000 libras, 10,000, 20,000 y 30,000 libras. Quizás haya sólo una tarifa única para todas las cantidades, lo cual se denomina como tarifa para cualquier-cantidad (CC).

Los ferrocarriles, camioneros y corredores de transporte por costumbre tienen un menor límite de cantidad sobre la cual basan los cargos, o tienen un cargo único mínimo de forma que los cargos reales no puedan caer por debajo de este mínimo. Es común encontrar tarifas cotizadas por la tarifa de clasificación y con un cargo mínimo. Ya que las tarifas de clase son para cargas menores al vehículo y para cargas con una cantidad única mínima de carga del vehículo, entonces también se encuentra una tarifa para una carga menor al vehículo y una tarifa de carga completa de vehículo adicionalmente al cargo mínimo.

Algunas tarifas pueden destacar los intervalos de peso en vez de las tarifas de categoría. La tabla 6-6 muestra un ejemplo de una categoría 100 de camión con intervalos comunes de peso hasta 40,000 libras.

Ejemplo

Suponga que un artículo valorado en la categoría 60 tiene un peso de envío de 1,000 libras (10 cwt), y se desplazará de Louisville, Kentucky, a Chicago, Illinois. Con base en la tabla 6-6, los cargos de transportación serían \$20.43/cwt. $\times$ 10 cwt = \$204.30.

Muchos transportistas ponen sus tarifas disponibles en discos de computadora y los distribuyen a sus clientes por una cuota nominal o gratis. Con esta ayuda, los remitentes pueden fácilmente cotizar sus propios envíos utilizando los códigos postales de cinco niveles para identificar los puntos origen y destino del envío. Los transportistas podrán entonces negociar con el remitente o consignatario un descuento apropiado a partir de esta tarifa de clasificación general.

Tabla 6-6 Tarifas seleccionadas de clase de camión en $ por cwt, por número de clasificación y cantidad de peso intermedio en libras para envíos desde Louisville, Kentucky, a Chicago, Illinois

Clase CM[a] $75.40	<500	≥ 500	≥ 1,000	≥ 2,000	≥ 5,000	≥ 10,000	≥ 20,000	≥ 30,000	≥ 40,000
500	165.39	132.31	99.26	82.70	59.51	54.44	28.67	28.67	28.67
400	139.03	111.22	83.43	69.51	50.03	45.76	24.10	24.10	24.10
300	110.26	88.21	66.17	55.13	39.68	36.68	19.11	19.11	19.11
250	95.88	76.70	57.54	39.55	34.50	31.56	16.62	16.62	16.62
200	79.10	63.28	47.47	39.55	28.46	26.04	13.71	13.71	13.71
175	69.51	55.61	41.72	34.76	25.01	22.88	12.05	12.05	12.05
150	62.32	49.86	37.40	31.16	22.43	20.51	10.80	10.80	10.80
125	52.73	42.19	31.65	26.37	18.98	17.36	9.14	9.14	9.14
110	52.34	40.27	30.21	25.17	18.11	16.57	8.73	8.73	8.73
100	47.94	38.35	28.77	23.97	17.25	15.78	8.31	5.69	4.37
92.5	45.54	36.43	27.33	22.77	16.39	14.99	7.89	5.41	4.15
85	42.19	33.75	25.32	21.09	15.18	13.89	7.31	5.01	3.85
77.5	39.79	31.83	23.88	19.90	14.32	13.10	6.90	4.72	3.63
70	37.39	29.91	22.44	18.70	13.46	12.31	6.48	4.44	3.41
65	35.48	28.38	21.29	17.74	12.77	11.68	6.15	4.21	3.23
60	34.04	27.23	20.43	17.02	12.25	11.20	5.90	4.04	3.10
55	32.60	26.08	19.56	16.30	11.73	10.73	5.65	3.87	2.97
50	31.16	24.93	18.70	15.58	11.21	10.26	5.40	3.70	2.84

[a] CM = Cargo mínimo en $

Fuente: Southern Motor Carriers' CZAR-LITE software.

En la tabla 6-7 se presentan más ejemplos sobre la forma como se calculan los cargos de transportación reales bajo varias circunstancias. Aunque en los ejemplos se utilizan tarifas de camiones, los métodos de cálculo por lo general son aplicables también a los otros modos de transporte.

Otras tarifas de incentivo

Existen tarifas adicionales que actúan como incentivos para enviar en grandes cantidades. Una tarifa de este tipo es la tarifa en exceso (ver tabla 6-7, ejemplo H). Las tarifas en exceso son menores que las tarifas de carga de vehículo y aplican sólo a aquellas cantidades que exceden los mínimos de carga de vehículo. Los transportistas estimulan a los consignatarios a que incrementen el tamaño de su embarque y permitan al transportista utilizar mejor la capacidad de su equipo.

Además, los transportistas estimulan a los consignatarios para que hagan envíos en cantidades superiores a los mínimos de carga de vehículo por medio de las tarifas de

Tabla 6-7 Ejemplos de cálculos de cargos de transporte para diferentes combinaciones de envíos por clase, distancia y peso del envío

Ejemplo	Especificaciones del envío	Tarifa de cálculo, $/cwt	Carga real de los cargos	Cargos	Comentarios
A	Artículo 2070-02; de Louisville, KY, a Chicago, IL; Volumen = 300 lbs	MC = $75.40, $110.26	$110.26 × 3 = $330.78	$330.78	Clase = 300 de la tabla 6-4; tarifa de la tabla 6-6
B	200 lbs de calendarios de papel; de Louisville, KY, a Chicago, IL	MC = $75.40, $37.39	37.39 × 2 = $74.78 Se paga cobro mínimo	$75.40	Clase = 70 para el artículo 4800-02 de la tabla 6-4; tarifa de la tabla 6-6
C	Mobiliario para gatos; de Nueva York, NY a Portland, OR; volumen = 15,000 lbs a una densidad de 5 lbs/pie cúb	MC = $197.25, $58.19	$58.19 × 150 = $8,728.50 La cantidad intermedia es 17,680 lb[a]	$8,728.50	Clase = 100 para el artículo 2070-05 de la tabla 6-4; tarifa de la tabla 6-5
D	150 lbs de libros impresos sobre papel satinado; de Louisville, KY, a Chicago, IL	MC = $75.40, $39.79	$39.79 × 1.5 = $59.69 Se paga cobro mínimo	$75.40	Clase = 77.5 para el artículo 4860-02 de la tabla 6-4; tarifa de la tabla 6-6
E	18,000 lbs de bolsas con publicidad; de Louisville, KY, a Chicago, IL	LTL: $15.78 @100 TL: $6.48 @70[b]	LTL: $15.78 × 180 = $2,840.40 TL: 6.48 × 200 = $1,296.00	$1,296.00 Envío TL a una menor categoría y tarifa	Categoría = 100 LTL y 70 TL para el artículo 4745-00 de la tabla 6-4; tarifas de la tabla 6-6
F	Granos empaquetados; de Louisville, KY, a Chicago, IL: volumen 27,000 lbs	$5.65@20,000 $3.87 @30,000	$3.87 × 300 = $1,161.00 La cantidad intermedia es 20,549 lb	$1,161.00	Categoría = 55 para el artículo 1090-00 de la tabla 6-4; tarifas de la tabla 6-6
G	Artículo de clase 100; de Nueva York, NY, a Little Rock, AR; volumen = 40,000 lbs; 40% de descuento de tarifa	$17.56 menos 40% = $10.54	$10.54 × 400 = $4,216.00	$4,216.00	Tarifa de la tabla 6-5
H	40,000 lbs de desperdicios; de Louisville, KY, a Chicago, IL	Clase TL = 35 Tarifa @35% de 4.37 = 1.52[c]	$1.52 × 400 = $608.00	$608.00	Clase = 35 para el artículo 2010-00 de la tabla 6-4; tarifa base de la tabla 6-6
I	Artículo de clase 100; Nueva York, NY, a Dallas, TX; 45,000 lbs; volumen mínimo para carga de camión = 36,000; tarifa en exceso ofrecida = $15.00/cwt.[d]	TL: Tarifa = $20.52	TL: $20.52 × 360 = $7,387.20 EX: $15.00 × 90 = $1,350.00 Total $8,737.20	$8,737.20	Tarifa de la tabla 6-5

[a] Cantidad intermedia = (51.44 ÷ 58.19) × 20,000 = 17,680 lbs
[b] Tarifa para clase 70 y peso de envío de 20,000 lbs
[c] La tarifa es aproximada como un porcentaje de la tarifa de clase 100. Es probable que una tarifa de carga de camión sea cotizada en forma separada de las tarifas tabuladas.
[d] Las tarifas aplican a todo el peso en exceso del volumen mínimo. El volumen mínimo de desplaza a la tarifa CL.
CM = Cargo mínimo.

múltiples vehículos e incluso mediante las tarifas de carga ferroviaria. Los transportistas pueden obtener economías de escala sobre cargas mayores y transferir estas economías a los remitentes en la forma de tarifas de incentivo. También son un arma competitiva contra los transportistas competidores. Los ferrocarriles han sido muy efectivos para enfrentar la competencia del transporte por ductos para el desplazamiento de carbón mediante el uso de trenes de una sola mercancía (trenes unitarios) y de tarifas de carga ferroviaria.

Algunos transportistas han establecido tarifas tiempo-volumen. Se ofrecen tarifas reducidas si se desplaza un tonelaje mínimo dentro de un periodo específico. El carbón con frecuencia es desplazado bajo este acuerdo.

Por ruta

Cuando los envíos implican desplazamientos de cargas completas de vehículo, los transportistas utilizan un cobro por milla para calcular los gastos totales de envío. Para las cargas de camiones, las tarifas entre los estados con frecuencia se cotizan sobre una base por milla o kilómetro. Cuando un vehículo recibe carga destinada a más de una parada, se podrá añadir un cargo de parada a la factura. La tarifa por milla o kilómetro es determinada por la ubicación del último punto en la ruta.

Ejemplo

En Atlanta, Georgia, se origina un envío por camión de 42,000 lbs y se realizan tres paradas para entrega en Dallas, Texas, ciudad de Oklahoma, Oklahoma, y St. Louis, Missouri. Se aplica un cargo de $75 por cada parada. La distancia de Atlanta a Dallas es de 822 millas (1,325 km), de Dallas a la ciudad de Oklahoma de 209 millas (340 km), y de la ciudad de Oklahoma a St. Louis de 500 millas (805 km). El costo por milla en St. Louis es $1.65. El costo del viaje sería (822 + 209 + 500) $\times$ $1.65 = $2,526.15. Si se añaden las tres paradas a $75 cada una resulta un costo total de transporte de $2,526.15 + 225 = $2,751.15.

Tarifas diversas

Muchas tarifas no se ajustan a las clasificaciones anteriores y se agrupan simplemente bajo el encabezado de "diversas". El siguiente análisis es selectivo de las muchas tarifas especiales ofrecidas.

Tarifas por volumen

La estructura de clasificación por categoría es un promedio de muchas características diferentes de producto. Cuando los productos son muy ligeros y voluminosos, la clasificación por categoría no compensa del todo al transportista por los costos incurridos al transportar estos artículos, por lo que se utilizan las tarifas por volumen, que se basan en el espacio ocupado en vez del peso.

Tarifas de importación o exportación

Para fomentar el comercio exterior se establecieron tarifas especiales, llamadas de importación o de exportación, a los envíos internos originados desde puntos en el extranjero o destinados hacia ellos. Tales envíos se desplazan sobre rutas de transportación nacionales a menores tarifas que los envíos comparables, que cuentan con orígenes y destinos internos. Estas tarifas tienen prioridad sobre las tarifas de categoría o las tarifas de artículo aplicables a envíos de la misma ruta.

Tarifas diferidas

En ocasiones, el consignatario está dispuesto a aceptar la posibilidad de mayor retraso en la entrega en comparación con el servicio regular a cambio de menores tarifas. Se le promete al remitente que la entrega se realizará no más tarde de una fecha determinada. Los transportistas utilizan tales cargas para completar el espacio disponible. Los servicios diferidos se utilizan con mayor frecuencia en la transportación aérea y la marítima.

Tarifas de valor de liberación

Los transportistas comunes son responsables por el valor de los bienes mientras están en su custodia. Si los bienes se pierden o se dañan, el consignatario puede hacer una reclamación hasta por el valor completo de los bienes. Normalmente, las tarifas están basadas en esta responsabilidad ilimitada. En contraste, se permite a los transportistas establecer tarifas con base en una responsabilidad limitada, llamadas tarifas de valor de liberación. Bajo estas tarifas, la responsabilidad del transportista está limitada a cierta cifra fija. Por ejemplo, las empresas de mudanzas de bienes domésticos por lo común limitan las reclamaciones de pérdidas y daños a una cifra fija de dólares por libra (o kilogramo). Las tarifas de valor de liberación son particularmente útiles cuando el valor real de los bienes es difícil de estimar.

Tarifas de carga marítima

Los envíos que se desplazan internacionalmente por mar representan una diferencia sustancial con respecto de la forma como los bienes se desplazan en forma nacional. Las tarifas no siguen de cerca los esquemas de clasificación de los transportistas nacionales. Éstas son cotizadas sobre una base de espacio o de peso, como opción del transportista. Los transportistas marítimos pueden pertenecer a organizaciones con el propósito de establecer tarifas colectivas. Las tarifas se estabilizan dentro de la organización, pero éstas varían de una a otra organización. Además, a la tarifa básica de carga pueden añadirse cuotas adicionales y sobrecargos para cubrir conceptos como peajes y manejo.

CARGOS POR SERVICIO ESPECIAL

Los transportistas con frecuencia proporcionan servicios especiales por los cuales se asignan cargos extra. Aunque algunos de estos cargos pueden estar incluidos en las tarifas del transporte de línea, pueden añadirse a la factura de carga por debajo o por arriba de los cobros por transporte de línea. Estos servicios especiales se clasifican como servicios especiales de transporte de línea o como servicios de terminal. Sólo se analizan los servicios utilizados con más frecuencia.

Servicios de transporte de línea especiales

Estos servicios se refieren a la parte del transporte de línea del desplazamiento y no a la operación de terminal.

Desvío y reconsignación

El desvío de un envío se refiere al cambio de destino del envío mientras se encuentra en ruta. La reconsignación se refiere al cambio de consignatario de un envío, por lo general después que éste llegó al destino original. En la práctica, sin embargo, no se hace distinción entre los términos.

Los remitentes han utilizado con frecuencia el privilegio de desvío y reconsignación en dos formas. Primero, cuando los artículos son perecederos como las frutas y vegetales, el consignatario puede iniciar con una carga completa (o camión lleno) hacia el área general de mercados, y cuando se obtiene o se negocia el destino exacto, el envío será desviado a ése mercado. El remitente posiblemente se pueda beneficiar mucho de este privilegio en términos de la flexibilidad para cubrir las dinámicas condiciones del mercado (tanto de demanda como de precio) a un cobro nominal por carga completa.

Segundo, el equipo del transportista puede utilizarse como almacén. Mediante una ruta indirecta, el remitente puede incrementar en forma sustancial el tiempo de tránsito del que normalmente se requiere. Cuando se desarrolla una demanda para los bienes, el envío puede entonces dirigirse directo al mercado. Debido a esta práctica, si se abusa, se pueden incrementar fuertemente los costos del transportista, y los transportistas ferroviarios específicamente han cuestionado su conveniencia.

Aplicación

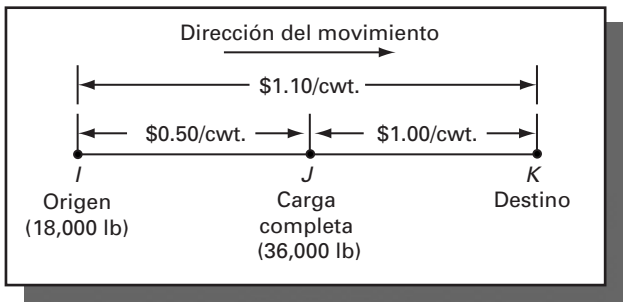
Anchor-Hocking Glass Company fabrica vajillas en sus plantas localizadas principalmente en el este del río Mississippi. El carbonato de sodio, un ingrediente clave en la fabricación de vidrio, se extrae sólo en el área de Green River, Wyoming. Los envíos por ferrocarril toman al menos siete días de tránsito para llegar a las plantas. Durante un día de enero, el estado de Ohio suspendió todo el acceso de tránsito debido a una fuerte nevada. Un envío de carbonato de sodio que ya se encontraba en camino desde Wyoming destinado a la planta de Ohio fue desviado a St. Louis a la planta de la compañía en Houston. Un envío posterior que normalmente se habría enviado a Houston fue desviado a la planta de Ohio. El privilegio de desvío y reconsignación ayudó a mantener operando las plantas de vidrio durante el repentino evento por sólo un pequeño gasto extra.

Privilegios de tránsito

Los transportistas ferroviarios y, en menor grado, los transportistas camioneros establecieron un servicio especial que permite que los envíos se almacenen antes de desplazarlos a su destino final. Para propósitos de tarifa, un envío se maneja como si se desplazara directo desde un punto de origen hacia un punto de destino, y el cargo de transporte estará compuesto por la tarifa de desplazar del origen al destino más un pequeño cobro adicional por la parada. Sin un privilegio de tránsito como este, los consignatarios tendrían que pagar la suma de la tarifa del origen al punto de parada más la tarifa del punto de parada al punto de destino *final*, y la suma de esto por lo general es mayor que la tarifa de privilegio de tránsito. Este privilegio claramente reduce las desventajas de ubicación de los procesadores y permite que el transportista enfrente mejor a la competencia al comprometer al consignatario a utilizar al transportista para ambos segmentos del trayecto. Los granos con frecuencia se procesan (trituran) y transportan bajo este privilegio.

Un servicio relacionado es el privilegio de parada, que funciona para completar la carga o para descargar parcialmente. Para completar la carga, un consignatario puede solicitar que el transportista se detenga en un punto intermedio entre los puntos de origen y de destino, aunque el punto intermedio no requiere necesariamente encontrarse entre una línea directa entre los dos puntos. La ventaja de este privilegio es que el remitente puede obtener una tarifa sobre el envío como si se originara completamente desde el pun-

Figura 6-9
Ejemplo de un privilegio de parada para completar la carga.



to de inicio más un cargo nominal por la parada. Esto por lo general es menor que la suma de las tarifas individuales.

Ejemplo

Considere el problema de transportación mostrado en la figura 6-9. Un envío de 18,000 libras (8,100 kg) se origina en el punto *I*. Se combinarán 30,000 lbs adicionales en el punto *J* y ambos envíos se desplazarán al punto *K* para entrega. En vez de que el consignatario pague las tarifas individuales entre cada punto, puede elegir, cuando las tarifas lo permitan, pagar la tarifa de *I* a *K* sobre el envío completo más un cargo de parada. Si la tarifa del punto de parada al destino final es mayor que la tarifa sobre la ruta completa, entonces la tarifa de *J* a *K* habría regido. La tabla 6-8 muestra una comparación de los cargos de transporte con privilegio de parada y sin éste.

El privilegio de parada aplicado a la descarga parcial es similar al de la carga completa. En ocasiones es más barato para el consignatario consolidar varios envíos que se desplazan a diversos destinos con objeto de tomar ventaja de los intervalos de tarifa de volumen sustancial mientras se incurre sólo en modestos cargos de parada. Para descargas parciales, las paradas son de dos tipos. En el primero de ellos, toda la descarga se realiza

Tabla 6-8 Cargos de transporte para el problema del ejemplo con privilegio de parada y sin éste

			Cargos sin privilegio		Cargos con privilegio
Carga	Ruta	Tarifa	de parada	Tarifa	de parada
18,000 lb en *I*	*I* a *J*	$0.50/cwt.	$ 90.00	—	—
	I y *J*	Cargo de parada	540.00	$1.10/cwt.[b]	$594.00
36,000 lbs adicionales en *J*	a *K*	$1.00/cwt.[a]	—	Cargo de parada	25.00
		Cargos totales	$630.00	Cargos totales	$619.00

[a]Basado en el peso combinado de 54,000 lbs.
[b]La tarifa aplica desde el punto *I* sobre carga completa.

desde el equipo en el que el envío originalmente se cargó [figura 6-10(a)]. En el segundo tipo se realiza una transferencia en un punto de trasbordo a un equipo diferente antes de desplazarse al destino final [figura 6-10(b)]. Los transportistas no cobran por el trasbordo; en vez de ello, los cargos se realizan como si la descarga parcial se hubiera presentado completamente desde el equipo original.

Las tarifas para el privilegio de parada están basadas en el peso del envío consolidado que se desplaza al punto de destino final. Se añade un cargo adicional por cada parada realizada, el cual puede o no estar basado en la cantidad cargada o descargada. Cuando se hace uso del privilegio de parada, los transportistas solicitan que los cargos se cobren en una sola ocasión. Por lo común se permiten hasta tres paradas para descargar, pero algunas tarifas sobrepuestas permiten hasta cinco paradas. En general, el privilegio de parada presentará una ventaja sobre los envíos con tarifas independientes cuando la mayor proporción del envío total se presente en puntos lo más alejados del punto de origen.

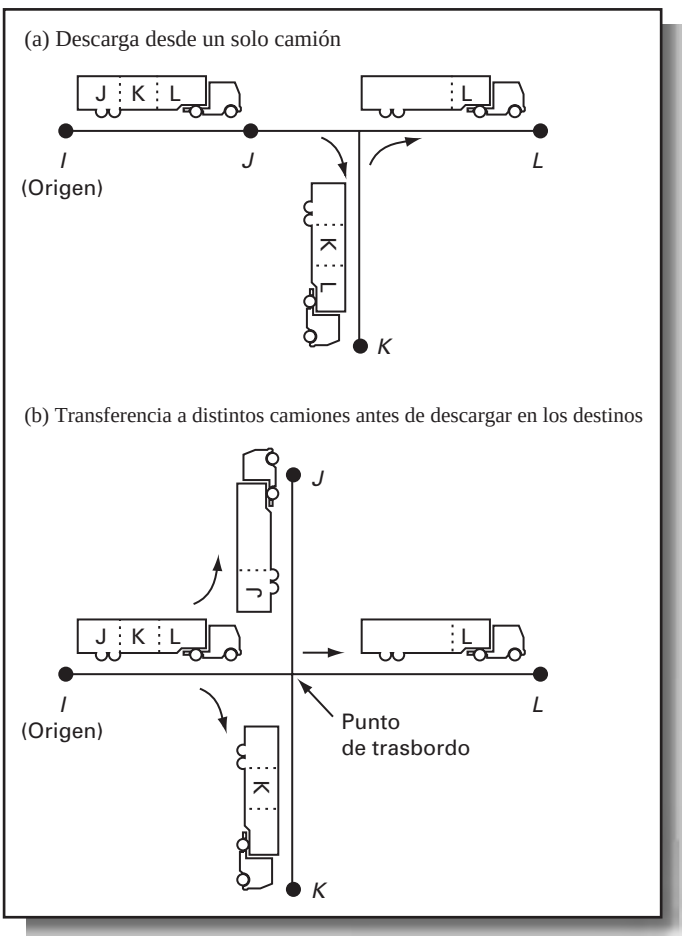


Figura 6-10
Ejemplos del privilegio de parada para descarga parcial.

Tabla 6-9 Comparación de los cargos totales para descarga parcial de dos puntos, con privilegio de parada y sin éste

	Sin privilegio de parada				Con privilegio de parada			
	Carga, lb	Puntos	Tarifa $/cwt	Cargos de transporte	Carga, lb	Puntos	Tarifa $/cwt	Cargos de transporte
	8,000	*I* a *J*	3.05	$ 244.00	30,000	*I* a *J*	3.00	$900.00
	12,000	*I* a *K*	3.35	402.00			3 paradas @ $15/parada[a]	45.00
	10,000	*I* a *L*	3.60	360.00				
Total	30,000		Cargos totales	$1,006.00			Cargos totales	$945.00

[a] El punto terminal *L* también incurre en el cargo de parada.

Ejemplo

Para ilustrar las diferencias en los cargos de transporte, con privilegio de parada y sin éste, considere el ejemplo mostrado en la figura 6-10(a), donde *J* = 8,000 lbs, *K* = 12,000 lbs y *L* = 10,000 lbs (3,600, 5,400 y 4,500 kg), con una cantidad mínima de 30,000 libras (13,500 kg). La tabla 6-9 muestra los comparativos de costos. Puede obtenerse un ahorro de $1,006 – 945 = $61 al utilizar el privilegio de parada en vez de cotizar cada envío en forma independiente.

Protección

Muchos artículos, debido a sus características físicas particulares, requieren cierto tipo de protección en tránsito además del que normalmente se proporciona. Los artículos perecederos pueden requerir refrigeración, congelación, ventilación o calefacción. Los artículos frágiles tal vez necesiten empacado adicional o material de estiba.[24] En estos casos, los transportistas pueden proveer equipo especial, como carros para evitar daños, carros refrigerados y con calefacción, así como la mano de obra y los materiales necesarios para proporcionar el servicio de protección. Aunque el servicio adicional para algunos artículos se ve reflejado en la clasificación por categoría para los artículos, los transportistas por lo regular añaden cargos a la factura de transporte para reflejar sus mayores costos.

Apoyo entre líneas de transporte

No todos los transportistas atienden a todas las regiones. Cuando éste es el caso, un transportista puede recoger un envío y luego cederlo a otro transportista que atienda la región de destino. En este caso, el primer transportista paga al segundo, pero el primero factura al consignatario. El cargo total del envío debe reflejar la utilidad hecha por ambos transportistas, y la tarifa puede ser mayor que si sólo un transportista hubiera manejado el envío del origen al destino.

Servicios en terminales

Se pueden crear cargos adicionales a la factura de transporte por servicios que se presentan alrededor de los puntos terminales dentro de la red de ruta de un transportista. Los

[24] El *material de estiba* se refiere al refuerzo cruzado en un carro de ferrocarril para prevenir que la carga se mueva durante el tránsito, lo que puede dañarla.

servicios en terminales de mayor importancia son la recolección y la entrega, el intercambio y la demora y detención.

Recolección y entrega

Muchos transportistas proporcionan el servicio de recolección y entrega como parte de su oferta de servicio regular e incluyen los cargos de esto como parte de las tarifas del transporte de línea. Sin embargo, esta práctica no es universal. Algunos transportistas no ofrecen recolección y entrega (por ejemplo, algunos servicios de transporte marítimo). Cuando éstos se proporcionan, la recolección y la entrega se pueden ofrecer con un cargo extra (como en el servicio de carga aérea). Cuando el servicio de recolección y entrega es "gratis", las tarifas por lo general limitan el servicio al área inmediata de la terminal del transportista, es decir, dentro de los límites comerciales de la ciudad, o dentro de una milla o kilómetro y medio de la terminal donde no hay centro urbano.

Intercambio

El "transporte de línea" para un ferrocarril implica el desplazamiento entre terminales o estaciones. El desplazamiento de los carros de ferrocarril desde los paraderos y cruces privados a las terminales o estaciones de ferrocarril, o viceversa, se denomina *intercambio.* El intercambio es similar a la recolección y la entrega, excepto que sólo están implicados carros de ferrocarril. Los ferrocarriles de transporte de línea no siempre cuentan con vías que conecten directamente con los consignatarios y han desarrollado acuerdos recíprocos de intercambio con otros ferrocarriles que atienden estos puntos. Muchos transportistas por ferrocarril absorben los cargos del intercambio y el remitente no paga nada por encima de la tarifa de transporte de línea, si el envío de transporte de línea produce cierto nivel de utilidad. Si el cargo de transportación no es suficiente para permitir que el transportista absorba el cargo de intercambio, o si no pudieron desarrollarse acuerdos recíprocos para atender el apartadero o cruce, el remitente o consignatario (receptor de los bienes) paga el cargo por intercambio sobre una base de cargo fijo por carro.

Demora y detención

La *demora y la detención* son términos equivalentes que se refieren a cargos de penalización impuestos sobre el remitente o consignatario por detener el equipo del transportista más allá del tiempo libre permitido que el transportista pueda detener un envío. En el caso de carros de ferrocarril, el tiempo libre estándar permitido son 48 horas para carga o descarga. Si la detención del equipo se debe a motivos bajo el control del remitente o consignatario, el ferrocarril puede imponer un cargo diario. Los domingos y días festivos por lo general se consideran parte del tiempo libre, pero pueden comenzar a cobrarse una vez que inicien los cargos por demora. La detención del equipo de transporte terrestre (camiones) sigue un plan similar, excepto que el tiempo libre es mucho más corto. Por lo general se utiliza una escala de tarifa graduada creciente para periodos mayores de retención de equipo, tanto para camiones como para ferrocarriles.

Los cargos por demora pueden evaluarse en dos formas. Una es el plan directo, donde cada pieza de equipo se trata de manera individual para determinar los cargos por demora. Cada pieza de equipo se cobra con base en la duración que se encuentre detenida. En contraste, el plan promedio representa un acuerdo entre el transportista y el remitente para promediar el comportamiento de detención del consignatario durante un periodo mensual y cobrar de acuerdo con éste. Bajo este plan, la liberación de un carro de ferrocarril dentro del periodo de las primeras 24 horas acarrea una bonificación de un crédito.

Por cada día que un carro esté detenido después del tiempo libre, se genera un débito. Si la suma de los débitos y los créditos al final del mes da por resultado débitos, el cargo por demora se aplicará de acuerdo a una escala creciente. Un balance neto de crédito ocasionará que no se aplique el cargo por demora.

Cálculo de costos de un transportista privado

La principal razón para que una compañía sea dueña o alquile equipo de transporte es proporcionar un nivel de servicio al cliente que no siempre se puede obtener de parte de los transportistas bajo contrato. De acuerdo con una encuesta entre 248 flotillas privadas de camiones, los motivos para contar con ellas fueron: 1) confiabilidad del servicio; 2) tiempos cortos del ciclo de pedido; 3) capacidad de respuesta en emergencias, y 4) mejor contacto con el cliente.[25] Obtener un menor costo que con el transporte por contrato no fue el factor motivante, aunque esto se puede lograr si existe una utilización suficientemente alta del equipo de transporte.

Observación

Para Domino's Pizza, Inc., el gigante de la pizza por entrega de $2,600 millones en ventas, es esencial manejar un flota privada para el éxito de la compañía. La razón por la que Domino's opera una flota privada es para proporcionar servicio de entrega de alimentos hechos a la medida a las tiendas individuales, para que los gerentes de las tiendas puedan enfocarse en la venta de pizzas. Cuando el propietario abre diariamente su tienda, la comida se encontrará ahí, separada y lista para utilizarse. Todo lo que el propietario debe hacer es cocinar y vender pizza.

La flota realiza entregas a cada tienda dos o tres veces por semana, realizando cerca de 10,000 entregas semanales a lo largo de todo Estados Unidos. Se garantiza un tiempo total de ciclo de pedido de 48 horas desde el momento en que el pedido se levanta hasta la entrega a la tienda. Ningún transportista por contrato con motivación lucrativa podría lograr esta meta de servicio.[26]

El costo de operar transporte controlado en forma privada es determinado en gran medida de la misma manera que con cualquier otro activo. Mientras que el transportista por contrato ha reunido todos los costos apropiados, los ha asignado entre distintos transportes y los ha expresado como una tarifa, el propietario de transportación controlada privada deberá encargarse de esta tarea, si es que desea hacer una comparación entre servicios de transporte alternativos. Por lo regular, tales costos se representan sobre una base por milla o kilómetro. Considere una flota de camiones de propiedad privada. Los costos por lo general se agrupan en tres amplias categorías: costos fijos, costos del operador y costos de operación de los vehículos.

Los *costos fijos* son aquellos que no varían con la distancia que el vehículo recorre en el tiempo. Incluyen el seguro del vehículo, los cargos de interés sobre el dinero invertido en los vehículos, cuotas de licencias, amortización del equipo y los gastos relacionados con el resguardo de los vehículos.

[25] Lisa H. Harrington, "Private Fleets Finding Their Niche", *Transportation & Distribution* (septiembre de 1996), págs. 55-60.
[26] Íbid.

Los *costos del operador* tienen como resultado la compensación del conductor. Los gastos comunes de este tipo son salarios; aportaciones a los planes de salud y de pensión; gastos de viáticos en recorridos, como alimentos, hoteles y otros costos cotidianos; aportaciones a la Seguridad Social, seguro de desempleo y compensación del trabajador; así como gastos variados, como llamadas telefónicas. Varios de estos costos se relacionan con el tiempo en que el vehículo se encuentra en carretera en vez de la distancia recorrida.

Los *costos de operación del vehículo* son aquellos en que se incurre para mantener al vehículo en el camino. Los gastos típicos son combustible, mantenimiento y similares. Estos costos diversos se subdividen entre el total de millas (km) recorridos por la flotilla y luego entre el número de vehículos, para obtener un costo promedio por milla por vehículo. Debido a los diversos costos fijos, el costo por milla es sensible a la asignación de ruta y programación, que afectan el total de kilómetros recorridos. Estos costos por kilómetro o milla, multiplicados por las distancias entre los puntos de origen y de destino, podrán compararse con las tarifas ofrecidas por los transportistas comunes o por contrato. Como regla empírica, los camiones de propiedad privada necesitan lograr que cerca de 80% de las millas (kilómetros) cargadas sean menos costosas que la opción de los transportistas por contrato. Los costos de las flotas privadas promedian $1.42 por milla, en tanto que las tarifas para los camiones por contrato promedian cerca de $1.33 por milla.[27]

Documentación

Los tres tipos de documentos básicos en la transportación nacional de carga son: conocimiento de embarque, factura de transporte y reclamación de carga. La transportación internacional cuenta con éstos y muchos otros.

Conocimiento de embarque

El conocimiento de embarque es el documento clave sobre el que se desplaza la carga. Es un *contrato legal* entre el consignatario y el transportista para el desplazamiento de una carga designada con razonable rapidez hacia un destino específico, para que arribe sin daños. De acuerdo con Taff, el conocimiento de embarque tiene los tres propósitos siguientes:

1. Funciona como recibo para los bienes, sujeto a las clasificaciones y tarifas que se encontraban en vigor a la fecha en que se emitió el conocimiento. Certifica que la propiedad descrita en el conocimiento de embarque está en orden excepto si se indica lo contrario. Tanto el consignatario como un agente por parte del transportista deben firmar el conocimiento de embarque, y un transportista no puede evadir su responsabilidad porque no haya emitido un recibo o conocimiento de embarque.
2. Funciona como contrato de flete… [e] … identifica las partes contratantes y establece los términos y condiciones del acuerdo.
3. Funciona como evidencia documental de propiedad. Sin embargo, es necesario precisar esta aseveración. Aunque esto es cierto de un conocimiento de embarque negociable, en el caso de un conocimiento de embarque directo, la persona que tenga posesión del conocimiento de embarque directo puede tener propiedad de los bienes. Sin embargo, esto dependerá de los hechos en el caso particular. Cuestiones como los términos de la venta influyen para establecer la propiedad de los bienes cubierta por el conocimiento de embarque directo.[28]

[27] Íbid.
[28] Taff, *Management of Physical Distribution and Transportation*, págs. 516-517.

El conocimiento de embarque directo, en contraste con el conocimiento de embarque de pedido, es un documento legal no negociable. Bajo el conocimiento de embarque directo, los bienes se consignan sólo a la persona específica indicada en el documento. Este conocimiento no puede ser negociado ni vendido. Bajo el conocimiento de embarque de pedido, los bienes están consignados a la orden de una persona. Este instrumento puede ser negociado o vendido al endosar el pedido a otra persona distinta a la especificada en el conocimiento original. Ser capaz de cambiar de título permite al remitente obtener el pago de sus bienes antes que estos lleguen a su destino mediante el endoso del conocimiento de embarque de pedido a un banco y recibir el pago. El banco, a su vez, pasa el documento al banco del consignatario, al consignatario y por último al transportista. El procedimiento funciona de manera muy similar a la forma como los giros bancarios se filtran a través del sistema bancario.

Factura de transporte

El conocimiento de embarque por lo general no contiene información sobre los cargos de transporte, aunque algunas formas modificadas sí incluyen estos cargos. Con mayor frecuencia, los cargos aparecen en un documento diferente, denominado por lo común como *factura de transporte*, la cual (una factura con los cargos del transportista) contiene, además de los cargos por transporte, mucha de la misma información que un conocimiento de embarque, como el origen y destino del envío, cantidad enviada, producto y personas involucradas.

Los cargos de transporte pueden pagarse por anticipado por parte del consignatario o cobrados al mismo. Los pagos para el servicio ferroviario se realizan antes de la entrega, excepto si se extendió crédito a remitentes financieramente responsables. Los términos del crédito varían, dependiendo del transportista involucrado. Por ejemplo, a los usuarios de los servicios ferroviarios se les permiten hasta 96 horas para realizar el pago. Los transportistas de camiones deben presentar a los consignatarios las facturas de transporte en siete días y los consignatarios tienen hasta siete días para pagar una vez recibida la factura. Las agencias de transporte pueden extender crédito hasta por siete días. Los transportistas marítimos nacionales por lo general permiten un crédito de 48 horas y en ocasiones de hasta 96 horas.

Reclamaciones de carga

En general se realizan dos tipos de reclamaciones contra los transportistas. El primero surge de las responsabilidades legales como transportista general y el segundo debido a sobrecargos.

Reclamaciones por pérdida, daños y retraso

Un transportista general tiene la responsabilidad de desplazar la carga con "razonable rapidez" y sin pérdida o daño. El conocimiento de embarque específicamente define los límites de la responsabilidad del transportista.

Observación

Un transportista general no es responsable de la pérdida, daño o retraso resultantes de un desastre natural, negligencia del consignatario, acto de un enemigo público, o de una acción legal contra el consignatario de los bienes. En otro caso, el transportista es responsable por el valor completo de los bienes que resulten perdidos o dañados, a menos que el

nivel de la responsabilidad del transportista se encuentre específicamente limitado por el conocimiento de embarque.

Las pérdidas debidas a retrasos "no razonables" o el incumplimiento de las fechas garantizadas son recuperables hasta el grado de reducción del valor directamente resultante del retraso.

Sobrecargos

Una reclamación contra un transportista por sobrecargo se genera a partir de alguna forma de facturación incorrecta, como la aplicación de una clasificación incorrecta, no utilizar las tarifas correctas, el uso de distancias incorrectas, errores aritméticos simples, cobros duplicados de los cargos de transporte, errores al determinar los pesos de los artículos, y diferencias en la interpretación de las reglas y tarifas. La auditoria general de las facturas podría detectar estos errores antes que se realice el pago, y se emitirá una factura de transporte corregida. De otra forma, se permiten hasta tres años para reclamaciones por sobrecargos en envío interestatales.

Documentación de transporte internacional

Una característica que distingue a la transportación internacional del movimiento nacional es la cantidad de documentos requerida para las importaciones y exportaciones. A continuación se presenta una lista de los documentos más populares y sus propósitos.

Exportación

- *Conocimiento de embarque.* Recibo por el cargamento y contrato para la transportación entre el consignatario y el transportista.
- *Recibo de plataforma.* Utilizado para transferir la responsabilidad por el cargamento entre transportistas nacionales e internacionales.
- *Instrucciones de entrega.* Proporciona instrucciones específicas para el transportista interior con respecto de la entrega de los bienes.
- *Declaración de exportación.* Exigida por el Departamento de Comercio de Estados Unidos como un documento fuente para estadísticas de exportación.
- *Carta de crédito.* Documento financiero que garantiza el pago al consignatario por el cargamento que se transporta.
- *Factura consular.* Utilizada para controlar e identificar bienes enviados a determinados países.
- *Factura comercial.* Factura de los bienes del vendedor al comprador.
- *Certificado de origen.* Utilizado para asegurar al país que adquiere con precisión el país en el que los bienes se produjeron.
- *Certificado de seguro.* Asegura al consignatario que se proporciona el seguro sobre los bienes mientras estén en tránsito.
- *Carta de transmisión.* Lista de las particularidades del envío y un registro de los documentos que se transmiten, junto con las instrucciones para la disposición de los documentos.

Importación

- *Aviso de llegada.* Informes de la fecha estimada de arribo del envío, junto con algunos detalles del envío.
- *Ingreso de aduanas.* Número de documentos que describen la mercancía, su origen y aranceles que ayudan a agilizar el despacho de los bienes a través de las aduanas, con los pagos inmediatos de aranceles o sin ellos.
- *Certificado del transportista y orden de liberación.* Certifica ante las aduanas al propietario o consignatario del cargamento.
- *Orden de entrega.* Emitida por el consignatario al transportista marítimo como autoridad para liberar el cargamento al transportista terrestre.
- *Liberación de carga.* Evidencia de que los cargos de transporte para el cargamento ya fueron pagados.
- *Factura de aduanas especial.* Forma oficial solicitada generalmente por las aduanas de Estados Unidos si la tarifa del arancel se basa en el valor, y si el valor del envío excede una cantidad fija en dólares.

Muchos especialistas en comercio internacional facilitan la preparación del papeleo, lo que puede ayudar al consignatario y al receptor de los bienes el desplazamiento internacional.

Comentarios finales

El transporte es un componente vital en el diseño y administración de los sistemas logísticos. Puede ser responsable de un tercio hasta dos tercios de los costos totales de logística. El propósito de este capítulo ha sido describir el sistema de transporte en términos de las opciones disponibles para los usuarios. Estas opciones por lo general incluyen los cinco principales modos de transporte (aéreo, por camión, ferroviario, marítimo y por ductos), así como sus combinaciones. Los usuarios pueden contratar el servicio o ser dueños de éste.

Los servicios de transporte se describen mejor por sus características de *costo* y *desempeño*. Esto distingue a un servicio de transporte de otro, y es lo que el usuario adquiere por parte de los sistemas de transporte. Las características de costo varían de un modo a otro y dan origen a sus estructuras de tarifa. Las tarifas están basadas principalmente en tres factores: distancia, tamaño del envío y competencia. Por otro lado, el desempeño del transportista se basa en el nivel de manejo del envío en las terminales y en la velocidad inherente del transportista. Se describe en forma adecuada en términos del tiempo promedio de tránsito, de la variabilidad tránsito-tiempo, y de las pérdidas y daños.

El transporte internacional es un área de creciente interés y preocupación para el responsable de la logística. El equipo de transporte es el mismo que el utilizado a nivel nacional, con excepción de que ciertos elementos del sistema de transporte se vuelven más importantes. Por ejemplo, el almacenamiento en contenedores es popular en los desplazamientos internacionales. Naturalmente, las rutas de transporte contrastan con las utilizadas localmente. El usuario del sistema de transporte internacional puede sentirse abrumado con la mayor documentación, con diferencias en la responsabilidad del transportista, los distintos procedimientos de aduanas y el uso de zonas de comercio extranjeras (todo lo cual se vuelve más complejo, ya que dos o más gobiernos tienen jurisdicción sobre el desplazamiento). Por fortuna existe una variedad de intermediarios, agentes, agentes transportistas y corredores para apoyar al consignatario con los desplazamientos internacionales.

Preguntas

1. ¿Por qué se considera tan importante el transporte para la economía de Estados Unidos? ¿Por qué es tan importante para una empresa particular?
2. Describa de manera general lo que un ejecutivo de logística debe conocer sobre los recursos y servicios del transporte.
3. ¿Qué es un servicio de transporte? Compare lo siguiente en términos de velocidad, confiabilidad, disponibilidad, perdidas y daños, y costo del servicio:
   a. Un envío de lechuga de California a Nueva York por aire, plataforma, ferrocarril o camión.
   b. Un envío de monitores de computadoras personales desde Corea del Sur a Londres por aire o por mar.
   c. Un envío de autopartes desde Detroit a la Ciudad de México por aire, tren, plataforma, mar o camión.
   d. Un envío de televisores desde el puerto de Los Ángeles a cinco centros de distribución en California por camiones contratados o por camiones de propiedad privada.
4. Identifique tres de los tipos de productos que principalmente se desplazan utilizando los cinco modos de transporte. ¿Por qué cree que cada modo tiene una ventaja con su grupo particular de producto?
5. Existen diez combinaciones posibles de servicio de transporte coordinado. Deduzca la razón de porqué sólo dos de ellas han obtenido importante popularidad.
6. En referencia a la figura 6-1, explique lo siguiente:
   a. Los envíos de carga menor que la completa de camión tardan más en promedio para todas las distancias que los envíos con carga completa de camión.
   b. Existe mayor ajuste en la curva de carga completa de carro de ferrocarril que en la curva de carga completa de camión.
   c. Los movimientos de carga aérea superiores a las 500 millas tienen el mismo tiempo promedio de tránsito sin importar la distancia.
   d. Los envíos de carro completo de ferrocarril muestran mayor variabilidad en tiempo de tránsito que cualquier otro servicio de transporte.
7. Construya una tabla de características de desempeño, como la tabla 6-3, para los cincos modos básicos de transporte para distancias de 80, 100, 500, 1,000 y 3,000 millas, y para los siguientes productos:
   a. Equipo electrónico, como reproductores de CD, videocaseteras y televisiones.
   b. Carbón, arena o grava.
   c. Alimento perecedero, como naranjas, uvas o apio.
8. ¿Por qué el almacenamiento en contenedores se ha vuelto un método de empacado tan popular en el transporte internacional? ¿Por qué no se utiliza en forma más amplia para desplazamientos nacionales?
9. Se requiere que los transportistas por contrato desplacen productos con rapidez y cuidado razonables. A su juicio, un transportista por contrato ¿debería pagar por las siguientes reclamaciones?
   a. Un envío toma 30 días en llegar a su destino cuando el transportista normalmente tarda dos semanas para la entrega.
   b. Un envío de mobiliario resulta excesivamente dañado en un descarrilamiento.
   c. Un camionero accidentalmente vuelca su carga de naranjas en una carretera congelada. La mayor parte de la carga fue dañada o robada por los transeúntes y una valla de seguridad resultó afectada.
   d. Una carga de camión con televisores es robada después de que el contrato de envío fue firmado en el punto de envío, pero antes de que el envío pudiera ser entregado.
   e. Un envío de carga aérea se pierde cuando el avión que la lleva es alcanzado por un relámpago.
   f. Un envío de alimentos empacados muestra daños exteriores cuando se abre el vagón en el destino.

10. Para las siguientes situaciones de envío, clasifique los modos básicos de transporte en términos de: 1) disponibilidad del servicio; 2) tiempo promedio de tránsito; 3) variabilidad del tiempo de tránsito; 4) precio del servicio; y 5) pérdidas y daños.
    a. El envío de 10,000 lbs de artículos de ferretería de Dallas, Texas, a Boston, Massachusetts.
    b. Una carga de contenedor de trajes de hombre que se desplaza de Hong Kong a Los Ángeles, California.
    c. Un envío de 70,000 lbs de productos de papel que se desplaza de Spokane, Washington, a Denver, Colorado.
    d. Un envío de 40,000 lbs de hoja de acero que se desplaza de Chicago, Illinois, a Cincinnati, Ohio.
    e. Un envío de 5,000 lbs de flores frescas de California a la ciudad de Nueva York.
11. ¿Qué papel juegan los pequeños servicios de envío y agencias en el sistema de transporte?
12. ¿Cuándo se vuelve una mejor opción el transporte de propiedad privada que la de transportista general?
13. Analice cómo podría utilizarse una zona de comercio exterior o libre para:
    a. Monitores de computadora importados a Estados Unidos desde Japón.
    b. Vinos de importación a Estados Unidos desde Francia.
    c. La importación a Taiwan desde Corea del Sur de componentes de computadora que luego son ensamblados en computadoras personales y enviados a Europa.
    d. La importación de plátanos a Estados Unidos desde Sudamérica.
14. Una compañía eléctrica en Missouri puede adquirir carbón para sus plantas generadoras de minas del oeste en Utah o de minas del este en Pennsylvania. El precio máximo de adquisición del carbón de $20 por tonelada en la planta de Missouri se establece de acuerdo con el precio de las formas de energía competidoras. El costo del carbón en el oeste es de $17 por tonelada y en el Este es de $15 por tonelada. Los costos de transporte desde la minas del este son de $3 por tonelada. ¿Cuál es el valor del transporte desde las minas del oeste?
15. Los envíos de cierto producto se originan en el punto *X* y serán enviados a los puntos *Y* y *Z*. *Y* es un punto intermedio entre *X* y *Z*. La tarifa a *Y* es $1.20 por cwt, pero debido a las condiciones competitivas en *Z*, la tarifa a *Z* es $1.00 por cwt. Aplique el principio de aplicación hacia atrás, y explique como éste elimina la discriminación de tarifas.
16. Utilizando las tablas 6-4, 6-5 y 6-6, determine los cargos de transporte para los siguientes envíos:
    a. Un envío de 2,500 lbs de manteles individuales de papel con publicidad impresa que se desplaza de Nueva York a Los Ángeles.
    b. Un envío de 150 lbs. de exhibidores de hule para propósitos publicitarios que se desplaza de Nueva York a Providence, RI.
    c. Un envío de 27,000 lbs de tela esmeril en paquetes que se desplaza de Louisville, Kentucky, a Chicago, Illinois. *Nota:* Para cualquier número de clasificación de producto por debajo de 50, utilice el 50 en el tabla 6-6.
    d. Un envío de 30,000 lbs de accesorios para gato a una densidad de 10 lbs por pie cúbico que se desplaza entre Louisville, Kentucky, y Chicago, Illinois.
    e. Un envío de 24,000 lbs de circulares publicitarias no impresas en papel periódico que se desplazan entre Louisville, Kentucky, y Chicago, Illinois. Se ofrece un descuento de tarifa de 40 por ciento.
17. ¿Cuál es la diferencia entre la clasificación de transporte (carga) y las tarifas de clase? Explique la diferencia entre una tarifa de contrato y una tarifa de clase.
18. Compare las estructuras de costos de los ferrocarriles con los transportistas de camiones y sugiera cómo podría influir en las estructuras de costos de cada uno.

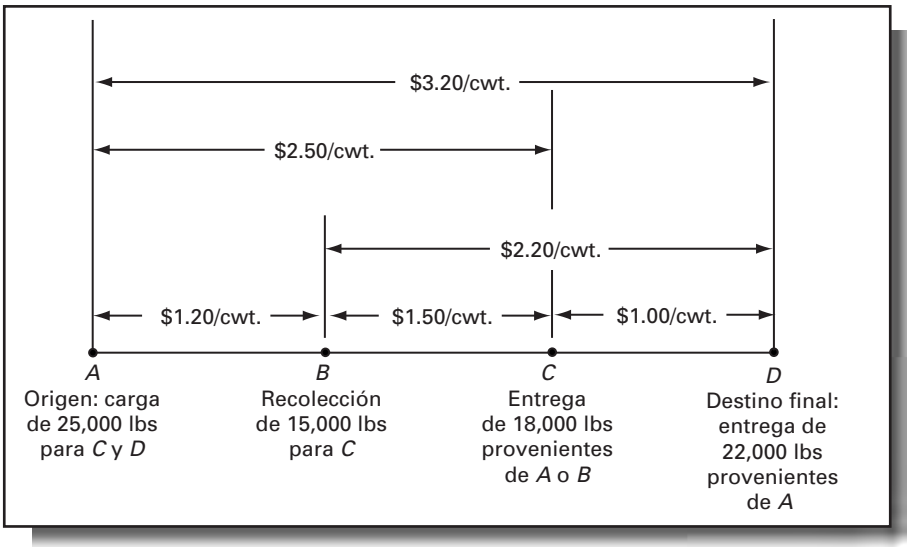


Figura 6-11 Problema de recolección-entrega.

19. Varios clientes están por recibir entregas. Estos clientes están ubicados a lo largo de una ruta principal desde un punto de envío. Se redactó una tarifa de camión que permite un privilegio de parada. ¿Cuáles son las características generales de los clientes en términos de pesos del pedido y sus ubicaciones relativas al punto de origen del pedido que hacen que el privilegio de parada sea una opción atractiva?
20. Sugiera los documentos que podrían necesitarse para los siguientes desplazamientos internacionales:
    a. La importación de automóviles desde Japón con destino a St. Louis, MO.
    b. La exportación de computadoras desde White Plains, Nueva York, hacia Sydney, Australia.
21. Un gerente de tráfico tiene dos opciones en la programación de un camión para realizar múltiples recolecciones y entregas. El problema de recolección-entrega se muestra en forma gráfica en la figura 6-11. El gerente de tráfico puede enviar los volúmenes acumulados como un solo envío entre los puntos designados o puede utilizar el privilegio de parada a $25 por parada para cualquier parte (o todas) del recorrido. Si el gerente de tráfico desea minimizar los costos de envío, ¿qué alternativa deberá elegir? Suponga que el punto de destino final incurre en el cargo de parada.
22. Explique porqué las tarifas de transporte varían ante: *a)* el peso de un envío; *b)* la distancia que es transportado un envío, y *c)* el valor del servicio de transporte.

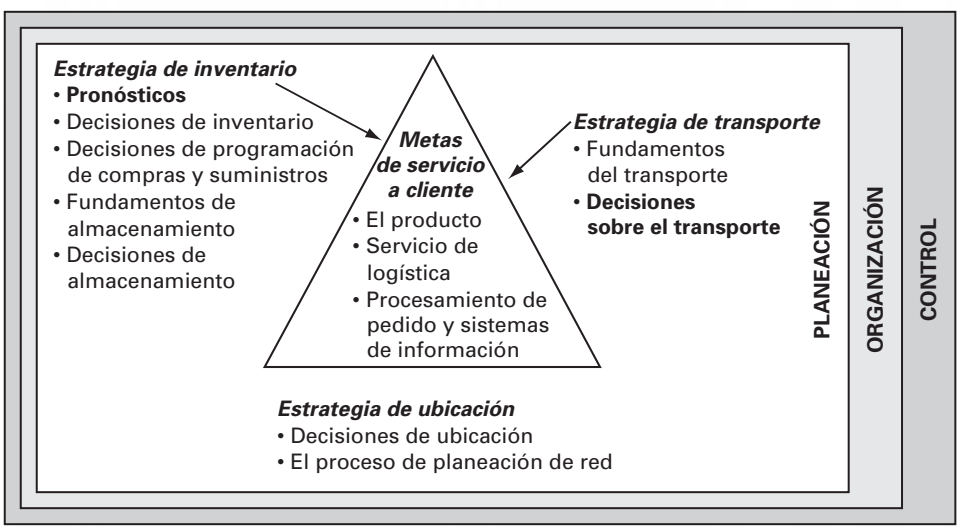
Capítulo 7

Decisiones sobre el transporte

Si planeas para un año, siembra arroz. Si planeas para 20 años, siembra árboles. Si planeas para siglos, siembra hombres.

—PROVERBIO CHINO

La transportación es un área de decisiones clave en la mezcla de la logística. Exceptuando el costo de adquisiciones, la transportación absorbe, en promedio, un porcentaje más alto de los costos de logística que cualquier otra actividad logística. Aunque las decisiones sobre el transporte se expresan en una variedad de formas, las principales son la selección del modo, el diseño de la ruta, la programación de los vehícu-



los y la consolidación del envío. En este capítulo se ilustrarán los métodos para tratar estas importantes decisiones.

Selección de los servicios de transporte

La selección de un modo de transporte o la oferta de servicio que incluya un modo de transportación depende de las diferentes características del servicio. McGinnis descubrió seis variables clave para elegir un servicio de transporte: 1) tarifas de flete; 2) seguridad o confiabilidad; 3) tiempo en tránsito; 4) pérdidas, daños, procesamiento de quejas y reclamaciones, y rastreo; 5) consideraciones de mercado del consignatario, y 6) consideraciones del transportista.[1] Aunque las tarifas de flete son importantes y pueden ser determinantes de la elección en algunas situaciones, el servicio por lo general sigue siendo más importante. Como dicen Evers y colaboradores: "La puntualidad y la disponibilidad son muy importantes para cada modo, en tanto que el contacto con la empresa, la conveniencia, la restitución y el costo son de menor importancia".[2] Otros estudios apoyan la misma idea.[3] Se considera que el servicio de transportación no puede ser elegido si no está disponible, entonces el tiempo en tránsito (velocidad) y la variabilidad del tiempo en tránsito (confiabilidad) quedan como los factores clave para elegir un servicio, seguidos por el costo. En Estados Unidos, los consignatarios dan preferencia a la seguridad y responsabilidad por encima del costo y de otras variables del servicio.[4]

Equilibrio de costos básicos

Cuando el servicio de transportación no se usa para conseguir una ventaja competitiva, la mejor opción de servicio se halla mediante la compensación entre el costo de usar un servicio particular de transporte y el costo indirecto de inventarios asociado al desempeño de la modalidad seleccionada. Es decir, la velocidad y la confiabilidad afectan los niveles de inventario, tanto del consignatario como del comprador (tanto el almacenamiento de pedidos como la seguridad), así como la cantidad de inventario que está en tránsito entre la ubicación del consignatario y la del comprador. Cuanto más lentos y menos confiables sean los servicios que se seleccionen, más inventario aparecerá en el canal. Los costos de manejo de inventario pueden compensar los costos más bajos del servicio de transportación. Dadas varias alternativas, el servicio favorecido será aquel que ofrezca el costo total más bajo, que sea consistente con los propósitos del servicio al cliente y que a la vez satisfaga los objetivos de servicio al cliente.

Los efectos del desempeño de la transportación, parecidos a los del inventario, pueden verse en la programación de la producción. Los sistemas de producción que operan con poco o ningún inventario de materias primas son muy vulnerables a los retrasos y paros por la variabilidad en el desempeño del transporte.

---

[1] Michael A. McGinnis, "The Relative Importance of Cost and Service in Freight Transportation Choice: Before and After Deregulation", *Transportation Journal,* Vol. 30, Núm. 1 (otoño de 1990), págs. 12-19.
[2] Philip F. Evers, Donald V. Harper, Paul M. Needham, "The Determinants of Shipper Perceptions of Modes", *Transportation Journal,* Vol. 36, Núm. 2 (invierno de 1996), págs. 13-25.
[3] Douglas M. Lambert, M. Christine Lewis, James R. Stock, "How Shippers Select and Evaluate General Commodities LTL Motor Carriers", *Journal of Business Logistics,* Vol. 14, Núm. 1 (1993), págs. 131-143; y Paul R. Murphy, Patricia K. Hall, "The Relative Importance of Cost and Service in Freight Transportation Choice Before and After Deregulation: An Update", *Transportation Journal,* Vol. 35, Núm. 1 (1995), págs. 30-38.
[4] Murphy y Hall, *op. cit*.

Ejemplo

Carry-All Luggage Company produce una línea de artículos de equipaje. El plan típico de distribución es producir un inventario de artículos terminados localizado en el lugar de la planta. Luego, los artículos son despachados a los almacenes propiedad de la compañía mediante transportistas comunes. Actualmente se usa el ferrocarril para los envíos entre la planta de la Costa Este y un almacén de la Costa Oeste. El tiempo promedio de tránsito para los envíos por ferrocarril es $T = 21$ días. En cada punto de venta hay alrededor de 100,000 unidades de equipaje con un valor promedio $C = \$30$ la unidad. Los costos de manejo de inventario son $I = 30\%$ anual del valor unitario del inventario.

La compañía desea seleccionar un modo de transportación que minimice los costos totales. Se estima que por cada día que se pueda reducir el tiempo de tránsito de los actuales 21 días, los niveles promedio de inventario podrán reducirse 1%, lo cual representa una reducción en el almacenamiento de seguridad. Hay $D = 700{,}000$ unidades anuales vendidas fuera del almacén de la Costa Oeste. La compañía puede usar los siguientes servicios de transporte:

Servicio de transporte	Tasa, $/unidad	Tiempo en tránsito puerta a puerta, en días	Núm. de envíos al año
Ferrocarril	0.10	21	10
En vagón plataforma	0.15	14	20
Por carretera	0.20	5	20
Aéreo	1.40	2	40

Se supone que tanto los costos de procuración, como la variabilidad del tiempo en tránsito son insignificantes.

En la figura 7-1 se muestra un diagrama del sistema actual de distribución de la compañía. El tiempo que dura en tránsito el inventario se verá afectado por la selección de modos alternos de transportación. La demanda anual total (D) pasa algún tiempo en tránsito; esta fracción del año se representa por $T/365$ días, donde T es el tiempo en tránsito promedio en días. El costo anual de manejo de este inventario en tránsito es $ICDT/365$.

El inventario promedio en ambos extremos del canal de distribución puede expresarse como $Q/2$, donde Q es el tamaño del envío. El costo de almacenamiento temporal por unidad es $I \times C$, pero el valor de C debe reflejar *dónde* está el inventario en el canal. Por ejemplo, el valor de C en la planta es el precio, pero en el almacén es el precio *más* la tarifa de transporte.

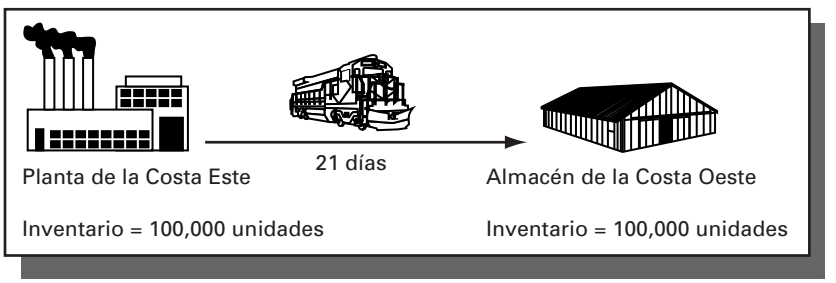


Figura 7-1
Distribución actual para Carry-All Luggage Company.

La tarifa de transportación corresponde a la demanda anual, de tal forma que $R \times D$ representa el costo total de transporte anual. En la tabla 7-1 se muestra el cálculo de estos cuatro costos importantes para cada opción de transporte. El transporte por carretera ofrece el costo total más bajo, incluso aunque el transporte por ferrocarril ofrezca la tasa más baja y el transporte aéreo ofrezca el costo de inventario más bajo. Al ir por carretera, el tiempo en tránsito puede reducirse a cinco días, y los niveles de inventario en cada extremo del canal pueden reducirse a 50 por ciento.

Consideraciones competitivas

La selección de una modalidad de transporte se puede usar para crear una ventaja competitiva de servicio. Cuando un comprador en un canal de abastecimiento compra bienes de más de un proveedor, el servicio logístico ofrecido, así como el precio, influyen en la selección del proveedor. Y viceversa, si los proveedores seleccionan el modo de transporte que van a usar en sus canales respectivos, pueden controlar este elemento particular de la oferta del servicio logístico, y de esta manera influir en la decisión o apoyo del comprador. Para el comprador, un mejor servicio de transporte (menor tiempo en tránsito y menor variabilidad del tiempo en tránsito) significa que pueden mantenerse menores niveles de inventario o que los programas de operación pueden lograrse con mayor certidumbre. Para alentar la opción de servicio del transporte más deseable, y con ello el descenso de sus costos, el comprador ofrece al proveedor lo único que puede darle: su apoyo o influencia. Lo que el comprador puede hacer es cambiar su participación en las compras al proveedor que ofrezca el servicio de transporte preferido. La ganancia de este incremento en el negocio puede sufragar el costo asociado a un servicio de transporte de primera calidad y animar al proveedor a buscar el servicio de transporte que le solicita el comprador, en vez de simplemente el que ofrece el menor costo.

Cuando hay opciones entre las fuentes de suministro en el canal de distribución, la selección del servicio de transporte llega a ser una decisión conjunta entre el proveedor y el comprador. El proveedor compite por la preferencia del comprador mediante la opción de la modalidad de transporte. Un comprador juicioso responde a la opción ofreciendo al proveedor más negocios. Cuántos negocios más debería ofrecer un comprador depende de la diferencia que exista en el servicio de transporte entre los proveedores que compiten. Para un proveedor es difícil establecer un solo servicio de transporte en un medio dinámico y competitivo, donde los proveedores pueden ofrecer servicios para contrarrestar a los proveedores de la competencia, y donde la relación entre la opción de servicio del transporte y el grado de apoyo potencialmente ofrecido por los compradores es difícil de estimar. A continuación se muestra un sencillo ejemplo, en el cual no hay contramovimientos de servicio por parte de ningún proveedor competidor, y en el que se conoce el grado al cual se transfieren las compras al proveedor con el servicio de transporte más favorable.

Ejemplo

Un fabricante de aparatos, localizado en Pittsburgh, compra 3,000 cajas de partes plásticas a dos proveedores, valoradas en $100 por caja. De hecho, las compras están divididas en partes iguales entre los dos proveedores. Cada proveedor utiliza transporte ferroviario y alcanza el mismo tiempo promedio de reparto. Sin embargo, por cada día que un pro-

Tabla 7-1 Evaluación de las opciones de transporte para Carry-All Luggage Company

Tipo de costo	Método de cálculo[a]	Opción de modo: Ferrocarril	Plataforma	Carretera	Aéreo
Transportación	R × D	(0.10)(700,000) = 70,000	(0.15)(700,000) = 105,000	(0.20)(700,000) = 140,000	(1.40)(700,000) = 980,000
Inventario en tránsito	$ICQ/2$ 365	[(0.30)(30)(700,000) × (21)]/365 = 363,465	[(0.30)(30)(700,000) × (14)]/365 = 241,644	[(0.30)(30)(700,000) × (5)]/365 = 86,301	[(0.30)(30)(700,000) × (2)]/365 = 34,521
Inventario en planta	$ICQ/2$	[(0.30)(30)(100,000)[b]] = 900,000	[(0.30)(30)(50,000)(0.93)[c]] = 418,500	[(0.30)(30)(50,000)(0.84)[c]] = 378,000	[(0.30)(30)(25,000)(0.80)[c]] = 182,250
Inventario en campo	$IC'Q/2$	[(0.30)(30.1)(100,000)] = 903,000	[(0.30)(30.15)(50,000)(0.93)[c]] = 420,593	[(0.30)(30.2)(50,000)(0.84)[c]] = 380,520	[(0.30)(30.4)(25,000)(0.80)[c]] = 190,755
	Totales	$2,236,465	$1,185,737	$984,821	$1,387,526

[a] R = tarifa de transporte; D = demanda anual; I = costos de manejo (%/anual); C = valor del producto en planta; C′ = valor del producto en almacén (C + R);T = tiempo en tránsito; Q = tamaño del envío.
[b] 100,000 es más que la cantidad de envío/2, para calcular un almacenamiento de seguridad.
[c] Cuentas para mejora en el servicio de transporte y el número de envíos anuales.

veedor pueda reducir el tiempo promedio de reparto, el fabricante de aparatos despachará 5% de sus compras totales (o 150 cajas) al proveedor que ofrezca un servicio de reparto de primera calidad. Un proveedor consigue un margen de 20% en cada caja antes de los gastos de transportación.

Al proveedor *A* le gustaría considerar si sería beneficioso cambiar del modo de ferrocarril al aéreo o por carretera. Las tarifas de transportación por cajón y los tiempos promedio de reparto para cada modo son las siguientes:

Modo de transporte	Tarifa de transporte	Tiempo de entrega
Ferrocarril	$ 2.50/cajón	7 días
Carretera	6.00	4
Aéreo	10.35	2

La opción del proveedor *A* puede hacerse basándose simplemente en los beneficios potenciales que recibirá. La tabla 7-2 muestra los beneficios desde la perspectiva del proveedor *A* para una opción del modo o modalidad de transporte.

Si el fabricante de aparatos mantiene su promesa de incrementar su apoyo al proveedor que tenga el mejor servicio de reparto, el proveedor *A* debería cambiar a reparto por carretera. Por supuesto, el proveedor *A* debería estar atento a cualquier contraataque del proveedor *B,* que pudiera neutralizar esta ventaja.

Evaluación de los métodos de selección

En los métodos comentados en el problema de la selección de un servicio de transporte se reconoce la necesidad de considerar el efecto indirecto que tiene la opción de transportación sobre los costos de inventario, y de la preferencia del miembro del canal de la logística que recibe la propuesta de desempeño del modo de transportación. Esto es además del costo directo del servicio suministrado. Sin embargo, a menudo hay otros factores por considerar, algunos de los cuales no están bajo control de quien toma las decisiones. Primero, la cooperación efectiva entre el proveedor y el comprador es alentada si hay conocimiento razonable del costo de cada parte. Si el proveedor y el comprador son entidades legales separadas, es dudoso que sea posible una información perfecta sobre el costo, a menos que se dé alguna forma de intercambio de información. En cualquier caso, la sensibilidad ante las reacciones de la otra parte para una opción de servicio de transporte o para el grado de preferencia, debería indicar la dirección de la cooperación.

Segundo, cuando haya un proveedor de la competencia en el canal de distribución, el comprador y el proveedor deberían actuar en forma juiciosa para lograr equilibrio ópti-

Tabla 7-2 Comparación de los beneficios para las opciones de los modos de transporte del proveedor *A*

Modo de transporte	Cajas vendidas	Utilidad bruta	–	Costo de transporte	=	Utilidad neta
Ferrocarril	1,500	$30,000.00	–	$ 3,750.00	=	$26,250.00
Carretera	1,950	39,000.00	–	11,700.00	=	**27,300.00**
Aéreo	2,250	45,000.00	–	23,287.50	=	21,712.50

mo de costo-servicio de transporte. Por supuesto, no puede garantizarse un criterio juicioso entre las partes.

Tercero, los efectos del precio no se han considerado. Si un proveedor tuviera que suministrar un servicio de transportación de mayor calidad que la competencia, podría elevar el precio del producto para compensar, al menos en parte, el costo añadido. El comprador debería considerar, entonces, tanto el precio como el desempeño del transporte al momento de determinar su decisión.

Cuarto, tanto los cambios en la tarifa de transporte como los cambios en la mezcla del producto y en el costo del inventario, así como la posible represalia del servicio de transporte por parte de un proveedor de la competencia, añaden al problema un elemento dinámico que no está considerado directamente.

Quinto, los efectos indirectos de la elección del transporte no se evalúan en los inventarios del proveedor. Los proveedores pueden experimentar aumentos o descensos en los niveles de inventario como resultado del tamaño del envío relacionado con la opción de transporte, tal y como lo hace el comprador. Los proveedores pueden ajustar el precio para reflejar esto, lo cual, a su vez, afectará la opción de transporte.

Diseño de rutas para los vehículos

Dado que los costos de transportación normalmente se hallan entre un tercio y dos tercios de los costos logísticos totales, mejorar la eficiencia mediante la máxima utilización del equipo de transportación y de su personal es una preocupación importante. El tiempo durante el cual los artículos están en tránsito se refleja en el número de envíos que pueden hacerse con un vehículo en un periodo dado, así como en los costos totales de transportación para todos los envíos. Un problema frecuente en la toma de decisiones es reducir los costos de transportación y mejorar el servicio al cliente encontrando los mejores caminos que debería seguir un vehículo en una red de carreteras, líneas ferroviarias, líneas de embarque o rutas de navegación aérea que minimicen el tiempo o la distancia.

Aunque hay muchas variaciones dentro de los problemas de diseño de rutas, podemos reducirlas a unos cuantos tipos básicos. Está el problema de cómo hallar un camino a través de una red donde el punto de origen es diferente del punto de destino. Hay un problema parecido cuando existen múltiples puntos de origen y de destino. Además, el problema de diseñar las rutas cuando los puntos de origen y destino son los mismos. Consideremos cómo se puede resolver cada tipo.

Puntos de origen y destino separados y sencillos

El problema de diseñar la ruta para un vehículo a través de una red ha sido resuelto de manera detallada por métodos elaborados específicamente para ello. Quizá la técnica más sencilla y más directa sea el método de la *ruta más corta*. El método puede ser parafraseado como sigue: Nos dan una red representada por vínculos y nodos, donde los nodos son los puntos de conexión entre los vínculos, y los vínculos son los costos (distancias, tiempos o una combinación de ambos, formados como un valor promedio de tiempo y distancia) para pasar entre los nodos. Inicialmente, todos los nodos son considerados sin resolver, es decir, que todavía no se encuentran dentro de una ruta definida. Un nodo resuelto está dentro de la ruta. Si se comienza con el origen en forma de un nodo resuelto, entonces:

- ***Objetivo de la iteración n.*** Halle el nodo *n* más cercano al origen. Repita para n = 1, 2, ... hasta que el nodo más cercano sea el destino.
- ***Entrada para iteración n.*** Los nodos $(n - 1)$ son los más cercanos al origen, resueltos por iteraciones previas, que incluyen su ruta más corta y la distancia del origen. Estos nodos, más el origen, se llamarán *nodos resueltos*; los otros son los *nodos no resueltos*.
- ***Candidatos para el nodo n más cercano.*** Cada nodo resuelto que esté directamente conectado por una rama a uno o más nodos no resueltos suministra un candidato: el nodo no resuelto con la rama de conexión más cercana. Las uniones suministran candidatos adicionales.
- ***Cálculo del nodo n más cercano.*** Para cada nodo resuelto de esta manera y sus candidatos se suma la distancia que haya entre ellos y se añade la distancia de la ruta más corta a este nodo resuelto desde el origen. El candidato con la menor distancia total será el nodo *n* más cercano (las uniones suministran nodos resueltos adicionales), y su ruta más corta es la que genera esta distancia.

Aunque el procedimiento suena algo complicado, un ejemplo puede ilustrar su simplicidad. Relacione el problema con los programas de mapeo y distancia de conducción hallados en la Web, como Mapquest.[5] Cuando el tamaño del problema se incrementa y el cálculo manual no es práctico, el módulo ROUTE de LOGWARE puede resolver tales problemas rápidamente.

Ejemplo

Supongamos que tenemos el problema mostrado en la figura 7-2. Buscamos una ruta que emplee un tiempo mínimo entre Amarillo y Fort Worth, Texas. Cada vínculo tiene un tiempo de manejo asociado entre los nodos, y los nodos son conexiones de carreteras.

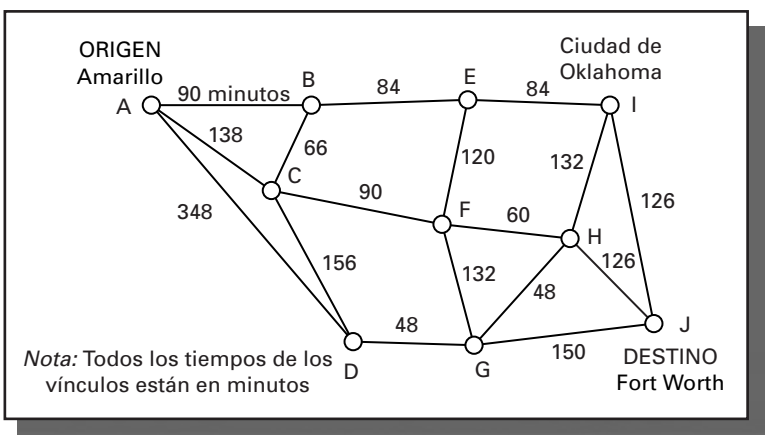


Figura 7-2
Representación esquemática de la red de autopistas entre Amarillo y Fort Worth, Texas, con tiempos de manejo.

[5] www.mapquest.com

Paso	Nodos resueltos, directamente conectados con nodos no resueltos	Su nodo no resuelto conectado más cercano	Costo total involucrado	*Nodo n más cercano*	Su costo mínimo	Su última conexión[a]
1	*A*	*B*	90	*B*	90	*AB**
2	*A*	*C*	138	*C*	138	*AC*
	B	*C*	90 + 66 = 156			
3	*A*	*D*	348			
	B	*E*	90 + 84 = 174	*E*	174	*BE**
	C	*F*	138 + 90 = 228			
4	*A*	*D*	348			
	C	*F*	138 + 90 = 228	*F*	228	*CF*
	E	*I*	174 + 84 = 258			
5	*A*	*D*	348			
	C	*D*	138 + 156 = 294			
	E	*I*	174 + 84 = 258	*I*	258	*EI**
	F	*H*	228 + 60 = 288			
6	*A*	*D*	348			
	C	*D*	138 + 156 = 294			
	F	*H*	228 + 60 = 288	*H*	288	*FH*
	I	*J*	258 + 126 = 384			
7	*A*	*D*	348			
	C	*D*	138 + 156 = 294	*D*	294	*CD*
	F	*G*	288 + 132 = 360			
	H	*G*	288 + 48 = 336			
	I	*J*	258 + 126 = 384			
8	*H*	*J*	288 + 126 = 414			
	I	*J*	258 + 126 = 384	*J*	384	*IJ**

[a] El asterisco (*) indica una ruta de costo mínimo.

Tabla 7-3 Tabulación de los pasos calculados para el método de la ruta más corta

Comenzamos marcando una tabla, como se muestra en la tabla 7-3. El primer punto que hay que identificar como un nodo resuelto es el origen, o *A*. Los nodos que conectan directamente con *A* y que no están resueltos son *B, C* y *D*. En el paso 1 anotamos que *B* es el nodo más cercano a *A* y registramos la conexión. El nodo *B* toma, ahora, el estado de nodo resuelto, ya que es la única opción disponible.

Después anotamos los nodos no resueltos más cercanos a los nodos resueltos *A* y *B*. Haciendo una lista de sólo los nodos más cercanos que conectan a cada nodo resuelto, tenemos $A \rightarrow C$ y $B \rightarrow C$. Los ponemos en la lista como en el paso 2. Nótese ahora que llegar a un nodo a través de otro nodo ya conectado requiere sumar el tiempo mínimo para poder alcanzar el nodo resuelto al tiempo del vínculo. Es decir, llegar a *C* a través de *B* requiere un tiempo total de *AB* + *BC*, o 90 + 66 = 156 minutos. Comparando los tiempos totales para llegar a los nodos no resueltos en el paso 2, se muestra que el tiempo mínimo de 138 minutos se alcanza uniendo *A* y *C*. *C* es ahora un nodo resuelto.

La tercera iteración halla los nodos no resueltos más cercanos que están conectados a los nodos resueltos. Como se muestra en la tabla 7-3, hay tres de ellos. Sumando todos los tiempos desde el origen a los nodos no resueltos en cuestión, se muestran tiempos totales de 348, 174 y 228. El tiempo mínimo de 174 se asocia con el vínculo *BE*. Ahora se registra como el resultado del paso 3.

El procedimiento continúa de esta manera hasta que se llega al nodo de destino, *J*, como se muestra en el paso 8. Se anota el tiempo mínimo de ruta de 384 minutos. La ruta se halla uniendo las partes de la ruta, comenzando en el destino y retrocediendo hasta el origen. Estos vínculos se identifican con un asterisco (*). La ruta óptima es $A \rightarrow B \rightarrow E \rightarrow I \rightarrow J$.

Los diversos métodos para calcular la ruta más corta llevan por sí mismos, con precisión, a una solución computarizada, donde la red de vínculos y nodos puede mantenerse en una base de datos. Seleccionando unos pares de origen y destino concretos se pueden desarrollar las rutas más cortas. Las rutas de distancias absolutas más cortas no cuentan para el tiempo que se tarda en atravesar la red, dado que la calidad de los vínculos no se toma en cuenta. Por lo tanto, una ruta práctica puede generarse cuando *tanto* el tiempo del viaje *como* la distancia sean valores dados.

Aplicación

PC*Miler e IntelliRoute son ejemplos de productos comerciales de software que están disponibles para hallar las rutas más deseadas a través de una red.[6] Supongamos que hay que diseñar una ruta para un camión desde Ashton, Iowa, hasta Des Moines, Iowa. La ruta práctica más corta (una mezcla de distancia y tiempo) es el objetivo del diseño de la ruta. PC*Miler produce el informe del viaje, como se muestra en la figura 7-3, y un mapa, como el que se muestra en la figura 7-4. Nótese que se le pueden dar al conductor instrucciones específicas sobre las carreteras exactas por las cuales debe pasar, los intercambios que debe tomar, y la distancia y el tiempo esperado que debería recorrer en cada tramo del viaje. En este caso, una ruta práctica tiene 233 millas (375 km), con un tiempo esperado de manejo de 5 horas y 13 minutos.

Además de hallar las rutas más cortas, dicho software incluye, por lo general, costos de peaje, datos actualizados de tramos de carretera en construcción, informes de impuestos de combustible, posicionamiento SPG (sistema de posicionamiento global) y distancia recorrida en cada estado. Esta ampliación de las capacidades ha llevado a la reducción de disputas por tarifas, reducción de multas, y mejora de las eficiencias de auditoría, todo lo cual resulta en beneficio del servicio al cliente, en la distribución, en el informe, en la utilización de activos y en la retención de conductores.

Un nuevo enfoque para hallar las rutas más cortas se basa en el comportamiento colectivo de las hormigas. La llamada "inteligencia de enjambre", que observa la auto-organización, el medio ambiente de trabajo con poca supervisión, y la interacción entre cada

[6] Productos de software de ALK Associates, Inc. (www.alk.com y www.pcmiler.com) y Rand McNally (www.milemaker.com), respectivamente.

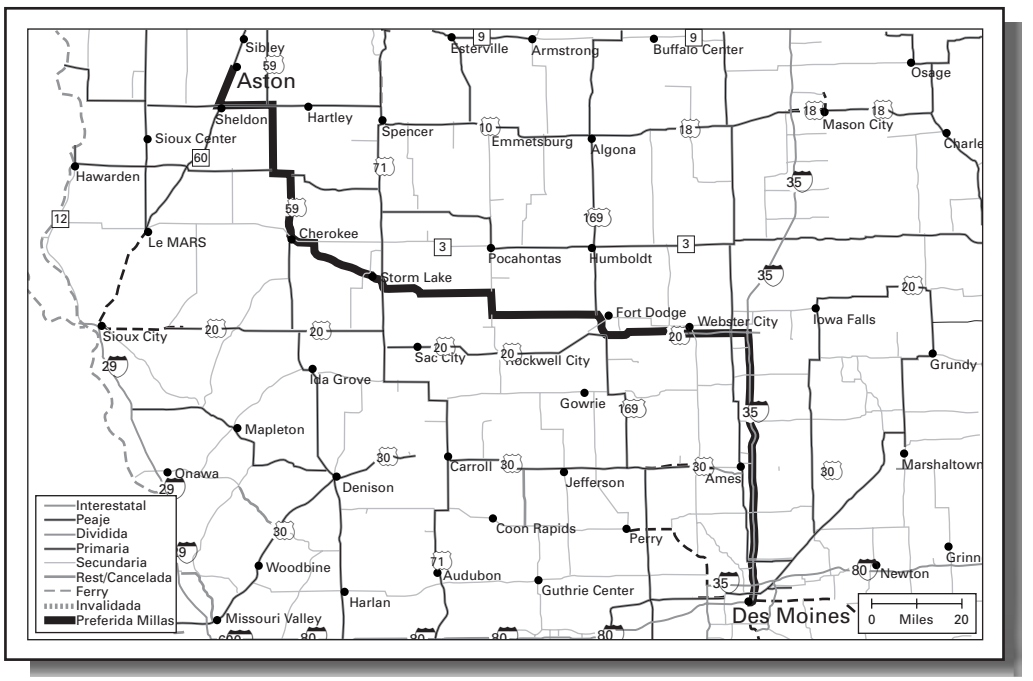
Millas: 233.0 Tiempo: 5:13 Costo: 256.30

Ruta práctica, fronteras abiertas

Estado/País		Ruta	Millas	Horas	Intercambio	Tramo, en millas	Tramo, en horas	Total de millas	Total de horas
Origen: 51232 Ashton, IA, Osceola				0:00	(en servicio) 0.00				
IA	S	IA-60	10.0	0:15	Sheldon, IA	10.0	0:15	10.0	0:15
IA	E	US-18	12.0	0:18	+US 18 US 59, IA	22.0	0:33	22.0	0:33
IA	S	US-59	32.0	0:48	+US 59 IA 3, IA	54.0	1:21	54.0	1:21
IA	E	IA-3	6.0	0:09	+IA 3 IA 7, IA	60.0	1:30	60.0	1:30
IA	E	IA-7	73.5	1:50	+US 169 IA 7, IA	133.5	3:20	133.5	3:20
IA	S	US-169	6.3	0:08	+US 20 US 169S, IA	139.8	3:28	139.8	3:28
IA	E	US-20	32.3	0:37	I 35 X142, IA	172.1	4:05	172.1	4:05
IA	S	I-35	56.0	1:01	+I 35 I 80N, IA	228.1	5:06	228.1	5:06
IA	W	I-235	4.3	0:06	+I 235 US 69, IA	232.4	5:11	232.4	5:11
IA		Local	0.6	0:01	Des Moines, IA	233.0	5:13	233.0	5:13
Arribo de carga									
Destino: 50301 Des Moines, IA, Polk				0:00	(en servicio) 0.00	233.0	5:13	233.0	5:13

Figura 7-3 Plan de ruta para viaje en carretera entre Ashton, Iowa y Des Moines, Iowa, según lo generó PC*Miler.

Figura 7-4 Mapa de un diseño de ruta.



hormiga en una colonia, lleva a soluciones eficientes para los difíciles problemas de diseño de rutas. Considérese cómo trabajan las hormigas para hallar el camino más corto hacia una fuente de comida, al dejar y seguir rastros químicos. Simplemente, dos hormigas dejan el hormiguero al mismo tiempo y toman diferentes rastros hacia una fuente de comida dejando feromonas, una sustancia química que atrae a otras hormigas. La hormiga que toma el rastro más corto volverá al hormiguero primero, y su rastro desde el hormiguero a la comida, y viceversa, tendrá dos veces más olor que si lo comparamos con el rastro que tomó la segunda hormiga. Las hormigas que regresen al hormiguero se verán atraídas por el rastro que tenga el olor más fuerte. Cuantas más hormigas tomen la ruta, más feromonas se depositan, reforzando la ruta más corta. Las rutas, pues, se determinan siguiendo dos reglas básicas: dejar feromonas y seguir el rastro de las otras. Las ideas del diseño de rutas según la inteligencia de enjambre se han aplicado con efectividad a problemas de diseño de rutas en telecomunicaciones, envíos de carga aérea y diseño de rutas por carretera.[7]

Puntos múltiples de origen y destino

Cuando haya puntos múltiples de origen que puedan servir a múltiples puntos de destino, hay un problema de asignación de los destinos a esos orígenes, así como también para hallar las mejores rutas entre ellos. Este problema ocurre, normalmente, cuando hay más de un vendedor, planta o almacén para servir a más de un cliente el mismo producto. Es aún más complicado cuando los puntos de origen están limitados por la cantidad de demanda total del cliente que puede suministrarse desde cada ubicación. A este tipo de problema se aplica con frecuencia una clase especial de algoritmo de programación lineal conocido como *método de transporte*.

Ejemplo

Supongamos que un fabricante de vidrios tiene un contrato con tres proveedores de sosa comercial (usada en la fabricación del vidrio), los cuales están ubicados en diferentes lugares, para suministrar a tres instalaciones de fabricación. No deben excederse las cantidades contratadas, pero se deben alcanzar los requerimientos de la producción. La figura 7-5 muestra el problema con las tarifas apropiadas de envío por tonelada. Estas tarifas son el resultado de hallar la ruta más corta entre cada proveedor y cada planta. Los suministros y los requerimientos están en toneladas.

Resolver este problema con el uso de un módulo de software de LOGWARE, llamado TRANLP, da los siguientes resultados en su archivo de salida:

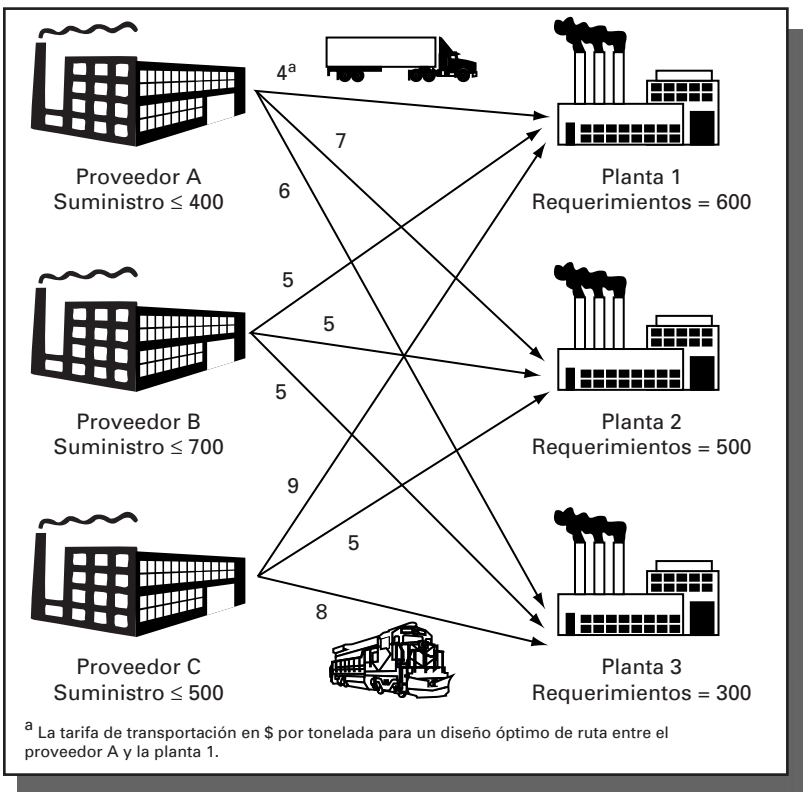
[7] Para mayor información sobre la inteligencia de enjambre, véase Eric Bonabeau y Christopher Meyer, "Swarm Intelligence: A Whole New Way to Think About Business", *Harvard Business Review,* Vol. 79, Núm. 5 (mayo de 2001), págs. 106-114.

```
Programa óptimo de suministro
          PARA:
        1    2    3
DESDE:
 1    400    0    0
 2    200  200  300
 3      0  300    0
Total de unidades transferidas = 1400.
Costo mínimo total = 6600.
```

La interpretación de este resultado es

Envío
400 toneladas del proveedor *A* a la planta 1
200 toneladas del proveedor *B* a la planta 1
200 toneladas del proveedor *B* a la planta 2
300 toneladas del proveedor *B* a la planta 3
300 toneladas del proveedor *C* a la planta 2

El costo mínimo para este plan de ruta es de $6,600.



[a] La tarifa de transportación en $ por tonelada para un diseño óptimo de ruta entre el proveedor A y la planta 1.

Figura 7-5
Ejemplo de un problema de diseño de ruta para múltiples orígenes y destinos.

Puntos coincidentes de origen y destino

El responsable de la logística con frecuencia encara problemas de diseño de rutas en los que el punto de origen es el mismo que el punto de destino. Esta clase de problema de diseño de rutas ocurre, por lo general, cuando los vehículos de transporte son de propiedad privada. Algunos ejemplos familiares son los siguientes:

- Reparto de bebidas a bares y restaurantes.
- Reparto y programación de efectivo en cajeros automáticos.
- Origen y transporte dinámicos de combustibles.
- Recoger grasa de restaurantes.
- Reparación, servicio y reparto de aparatos para el hogar.
- Reparto de alimentos a domicilio por compras basadas en Internet.
- Recoger leche y manejo del inventario.
- Recoger donaciones caritativas a domicilio.
- Reparto, retiro y servicio de baños portátiles.
- Transporte de prisioneros entre las cárceles y los tribunales.
- Retiro de animales muertos y enfermos de las carreteras.
- Diseño de rutas de los quitanieves y del traslado de la nieve.
- Transporte de muestras de análisis desde los consultorios médicos a los laboratorios.
- Transporte de discapacitados mediante camionetas y taxis.
- Recoger y trasladar basura.
- Distribución de ventas al por mayor desde los almacenes a los minoristas.
- Diseño de rutas por carretera para el reparto del correo.
- Diseño de rutas de autobuses de escuela.
- Reparto de periódicos.
- Reparto de alimentos a "enclaustrados".[8]

Este tipo de problema de diseño de rutas es una extensión del problema de puntos separados de origen y destino, pero el requisito de que la vuelta no está completa hasta que el vehículo regresa a su punto de partida, añade una dimensión que lo complica. El objetivo es hallar la secuencia en la que los puntos deberían visitarse, de manera que se pueda reducir al máximo el tiempo o la distancia total del recorrido.

El problema de diseño de ruta de origen y destino coincidentes por lo general se conoce como problema del "agente viajero". Se han propuesto numerosos métodos para resolverlo. Encontrar la ruta óptima para un problema en particular no ha sido práctico para dichos problemas, cuando éstos contienen muchos puntos o se necesita hallar rápidamente una solución. El tiempo de cálculo en las computadoras más rápidas para métodos de optimización ha sido demasiado largo para muchos problemas prácticos. Los procedimientos de solución cognoscitiva, heurística o una combinación de optimización heurística han sido buenas alternativas.

Aplicación

El Central Valley School District, localizado cerca de Spokane, Washington, está a la cabeza en la aplicación de tecnología para el manejo de información y para llevar a cabo sus

[8] Janice G. Partyka, Randolph W. Hall, "On the Road to Service", *OR/MS Today* (agosto de 2000), págs. 26-35.

tareas de diseño de la ruta diaria de autobuses escolares, todo ello en una fracción del tiempo y del costo de métodos anteriores. Durante decenios, Central Valley generó rutas para los autobuses escolares usando mapas de papel, tachuelas para señalar en los mapas, transparencias plásticas y lápices de colores. Las direcciones de cada estudiante tenían que localizarse en el mapa de papel y marcarse a mano. Usando su propio juicio, los encargados de diseñar las rutas agrupaban a los estudiantes que vivían más cerca, marcaban los puntos para recogerlos y creaban más de 250 corridas de autobús para los estudiantes del distrito. Después de usar un software de diseño de rutas a la medida, el distrito escolar redujo en una semana el tiempo que tomaba crear los informes estatales y consiguió una reducción de cinco o seis rutas, lo que originó un ahorro adicional de $125,000.[9]

Los puntos se relacionan espacialmente

Pueden hallarse buenas soluciones para los problemas del agente viajero, de dimensión real, usando las capacidades de reconocimiento de patrones de la mente humana. Se sabe que la buena continuidad de paradas se forma cuando los caminos de la ruta no se cruzan. Además, el perfil de la ruta por lo general se abultará, o formará una figura como de gota, cuando sea posible. En la figura 7-6 se ilustran buenos y malos diseños de ruta. Basado en este principio, un analista puede esbozar rápidamente un plan de ruta, en tanto que una computadora puede requerir muchas horas para hallarla.

Por otra parte, se puede usar un modelo por computadora para hallar las secuencia de las paradas de una ruta. Esto puede ser una mejor opción que la percepción, cuando la relación de los espacios entre las paradas no representan su tiempo o distancia reales de viaje. Este puede ser el caso cuando hay barreras de viaje, calles de un solo sentido o congestión de tráfico, todo lo cual puede deformar la representación gráfica del problema. Sin embargo, siempre que sea posible, la localización geográfica de las paradas, como en puntos de coordenadas, puede simplificar el problema reduciendo la cantidad de datos

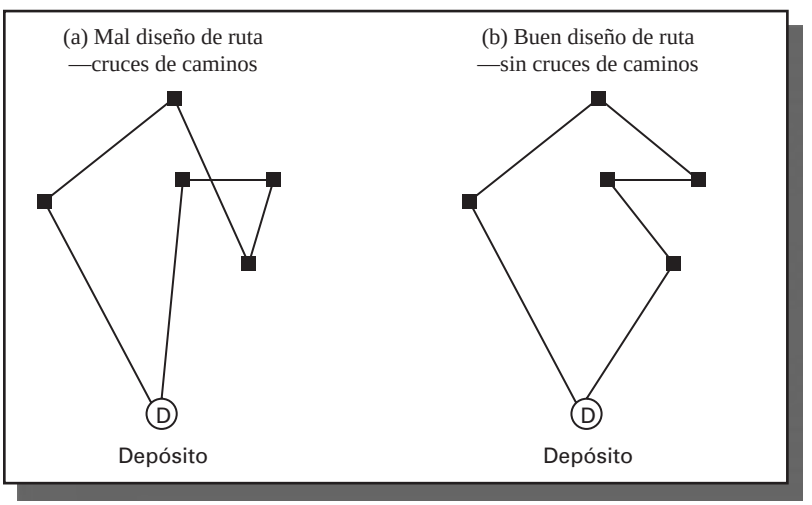


Figura 7-6
Ejemplos de mala y buena secuencia de paradas.

[9] "School Bus Routing Goes High-Tech", *ESRI ArcNews* (invierno de 2000/2001), pág. 1 en adelante.

que necesitan recopilarse para representar dicho problema. (Incluso, puede haber miles de distancias o tiempos necesarios para un problema relativamente simple.) A la computadora se le asigna la tarea de estimar las distancias o los tiempos. Se han desarrollado procedimientos especiales de cómputo que resuelven rápido el problema representado de manera espacial y que producen resultados que están cercanos al óptimo.

Ejemplo

La Anheuser-Busch Company emplea vendedores de ruta para vender cerveza y otras bebidas desde un camión que posee el distribuidor local. Al vendedor le pagan por comisión, y lo mismo que el distribuidor, no desea pasar más tiempo del necesario ni viajar una distancia mayor que la necesaria para cubrir las cuentas sobre una base diaria. Se usan alfileres sobre un mapa para localizar las cuentas actuales de un vendedor en particular. Un ejemplo de este tipo de información para 20 cuentas rurales se ha transferido al mapa cubierto de cuadrículas que se muestra en la figura 7-7(a). Las coordenadas se relacionan con la distancia. El camión tiene que empezar en el depósito y regresar al mismo, visitar todas las cuentas, y viajar la menor distancia posible.

Intente un enfoque cognoscitivo. Ahora compare su solución con la generada por el software ROUTESEQ (un módulo de LOGWARE) que se muestra en la figura 7-7(b). La distancia total de la vuelta (costo) es de 37.59 unidades de coordenada. Es una buena solución, pero no necesariamente la mejor.

Los puntos no se relacionan espacialmente

Cuando no es fácil establecer la relación de espacio entre las paradas de la vuelta, ni por su representación en un mapa ni por su identificación con los puntos de coordenadas, o

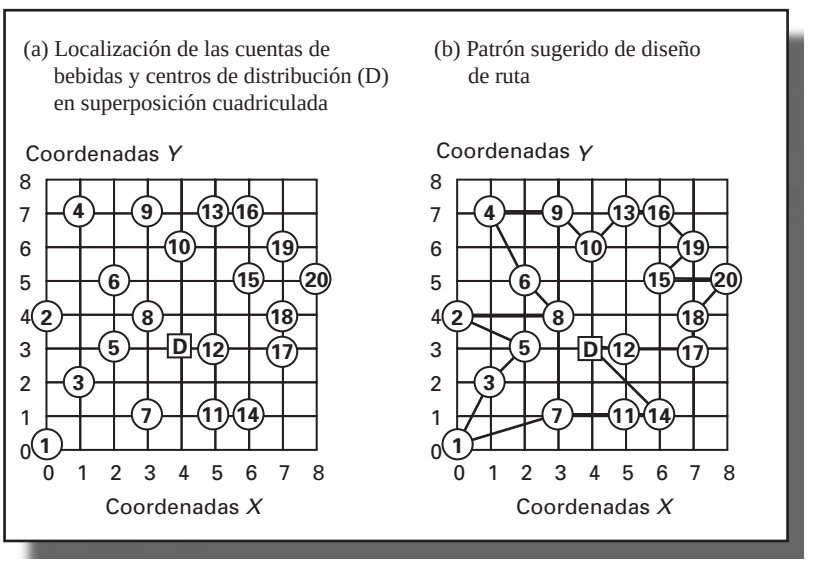
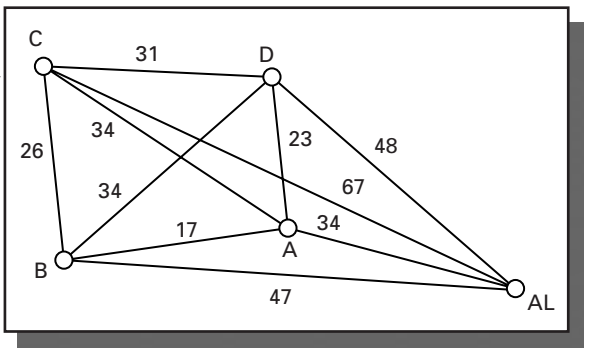


Figura 7-7
Paradas en la ruta de ventas de un camión de cerveza, con un patrón sugerido de diseño de rutas desarrollado por el software ROUTESEQ.

Figura 7-8
Ejemplo de problema de reparto, con tiempo de viaje en minutos.
AL = almacén.



cuando las relaciones de espacio llegan a estar distorsionadas por razones prácticas (como se comentó previamente) se deberían especificar las distancias exactas, o los tiempos, entre dos pares de paradas. Los procedimientos cognoscitivos son menos aplicables, y tenemos que recurrir a uno de los muchos procedimientos matemáticos sugeridos con los años para tratar este problema. Aunque las distancias entre paradas, o tiempos, puedan ser tan exactas como deseemos especificarlas, los procedimientos de solución tienden a dar respuestas aproximadas.

Ejemplo

En la figura 7-8 se muestra un pequeño problema de reparto que utiliza un almacén como depósito y que tiene cuatro paradas. Los tiempos de viaje entre las paradas se obtienen de escoger primero la ruta más apropiada y luego multiplicar por la velocidad del vehículo para hallar el tiempo que se tarda en recorrer la distancia. Se supone que el tiempo de viaje entre los pares de paradas es el mismo en ambas direcciones.

Usando el módulo de vuelta de agente viajero de STORM,[10] se descubre una secuencia de paradas de ida y vuelta de AL → D → C → B → A → AL. El tiempo total para hacer este viaje de ida y vuelta es de 156 minutos.

Programación y diseño de rutas de los vehículos

La programación y el diseño de rutas para los vehículos (PDRV) es una extensión del problema básico del diseño de ruta de vehículos ("agente viajero"). Ahora se incluyen limitaciones reales, como: 1) cada parada puede tener un volumen que tiene que ser recogido además de entregado; 2) pueden usarse múltiples vehículos con diferentes limitaciones de capacidad, tanto en peso como en volumen; 3) se permite un máximo de tiempo de conducción en ruta antes de tomar un periodo de descanso de al menos 10 horas (restricciones de seguridad del Departamento de Transportes); 4) las paradas pueden permitir

[10] Numerosas herramientas de apoyo para decisiones por computadora, por Hamilton Emmons, A. Dale Flowers, Chandrashekar M. Kott, Kamlesh Mathur, *STORM 4.0 for WINDOWS: Quantitative Modeling for Decision Support* (Lakeshore Publishing, Cleveland, OH: 2001).

recolección y entregas sólo a ciertas horas del día (llamadas *momentos oportunos);* 5) se puede permitir recolección en una ruta sólo después de haber efectuado las entregas, y 6) se puede permitir a los conductores tomarse breves descansos, o pausas, para comer a ciertas horas del día. Estas limitaciones añaden gran complejidad al problema y frustran nuestros esfuerzos para hallar una solución óptima. Según señalan Gendreau y colaboradores: "...al día de hoy, sólo pueden resolverse en forma óptima ejemplos relativamente pequeños de PDRV".[11] Sin embargo, pueden hallarse buenas soluciones a tales problemas si se aplican los principios de una buena programación y diseño de rutas o algunos procedimientos heurísticos lógicos. Considere el problema de programación y diseño de rutas en el que los camiones tienen que empezar en un depósito central, visitar múltiples paradas para hacer los repartos y volver al depósito el mismo día.

Principios para una buena programación y diseño de rutas

Quienes toman las decisiones, como los despachadores de camiones, pueden avanzar mucho en el desarrollo de buenas programaciones y diseños de rutas por carretera si aplican ocho principios guía, los cuales se resumen a continuación:

1. ***Cargar los camiones con volúmenes de parada que estén lo más cercanos unos de otros.*** Las rutas de los camiones deberían formarse alrededor de agrupaciones de paradas que estén cerca unas de otras para reducir al máximo el tiempo del viaje entre ellas. Esto también minimiza el tiempo total del viaje en la ruta. La figura 7-9(a) muestra el tipo de agrupación que debe evitarse en el momento de cargar los camiones. La figura 7-9(b) muestra una mejor agrupación.

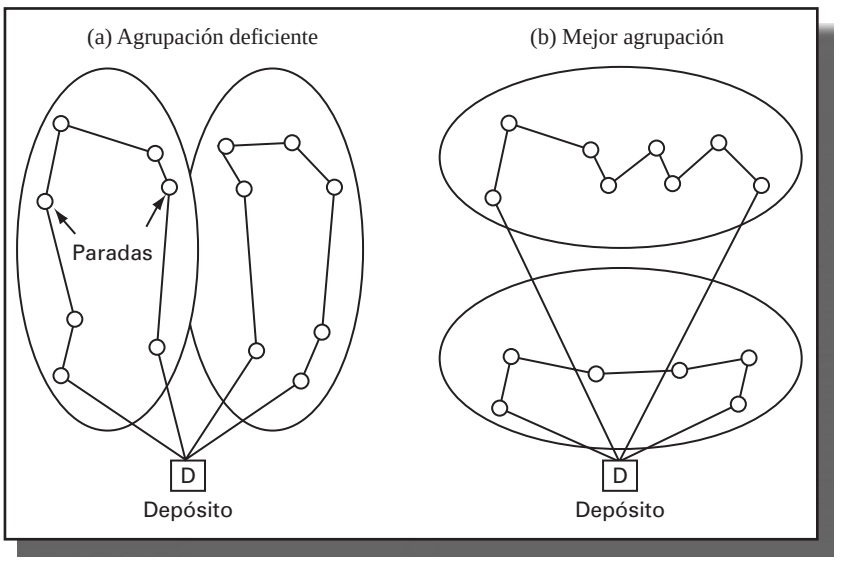


Figura 7-9
Agrupación para la asignación de volúmenes de parada a los vehículos.

[11] Michel Gendreau, Alan Hertz, Gilbert Laporte, "A Tabu Search Heuristic for the Vehicle Routing Problem", *Management Science,* Vol. 40, Núm. 10 (octubre de 1994), pág. 1276.

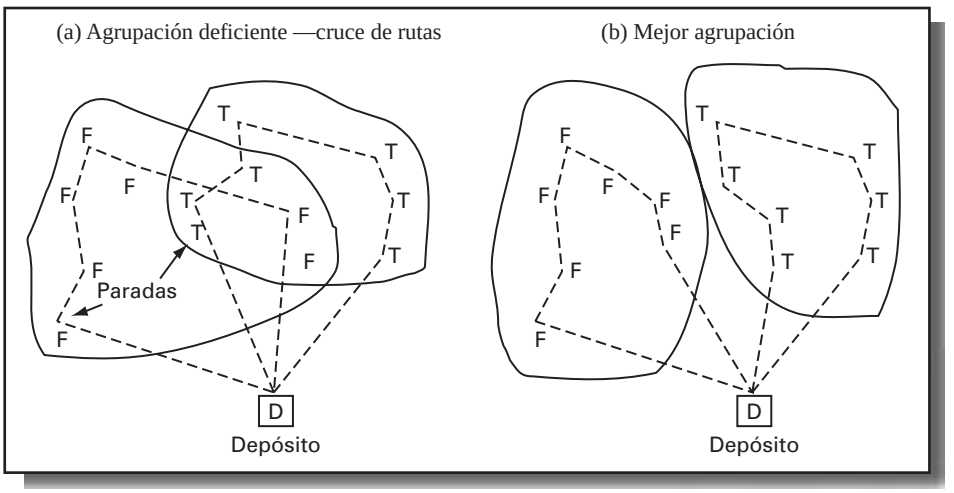


Figura 7-10 Agrupación de paradas por día de la semana.

2. ***Las paradas en diferentes días se deberían ordenar de tal manera que formen agrupaciones más estrechas.*** Cuando las paradas deben efectuarse durante diferentes días de la semana, deberían segmentarse en problemas de programación y diseño de rutas separados para cada uno de los días de la semana. Los segmentos diarios, para los cuales hay que desarrollar programas y diseños de rutas, deberían evitar la superposición de las agrupaciones de paradas. Esto ayudará a minimizar el número de camiones necesarios para atender todas las paradas, así como a minimizar el tiempo de viaje del camión y la distancia recorrida durante la semana. La figura 7-10 muestra ejemplos de una buena y una mala agrupación.
3. ***Construir rutas comenzando con la parada más lejana del depósito.*** Pueden desarrollarse rutas eficientes mediante la construcción de agrupaciones de paradas alrededor de la parada más lejana del depósito y luego trabajando de regreso hacia el depósito. Una vez que se identifica la parada más lejana, debería seleccionarse el volumen desde la agrupación más estrecha de paradas situada alrededor de esta parada clave, para completar la capacidad asignada del camión. Después de que se hayan asignado al vehículo los volúmenes de paradas, seleccione otro vehículo e identifique la parada más lejana al depósito entre las paradas restantes que aún no hayan sido asignadas a un vehículo. Proceda de esta manera hasta que todas las paradas se hayan asignado a los vehículos.
4. ***La secuencia de paradas en una ruta por carretera debería formar una figura de lágrima.*** Las paradas deberían continuarse de tal manera que ningún camino de la ruta se cruce, y la ruta parezca tener la forma de una lágrima. Vuelva a la figura 7-6. Las restricciones de momentos oportunos y la obligación de recoger después de las entregas puede provocar que los caminos de la ruta se crucen.
5. ***Las rutas más eficientes se construyen usando los vehículos más grandes disponibles.*** Idealmente, usar un vehículo lo suficientemente grande como para manejar todas las paradas en una ruta minimizará la distancia total, o el tiempo, utilizado para atender las paradas. Por lo tanto, se deberían asignar primero los vehículos más grandes, de entre los múltiples tamaños de una flota, a condición de que pudieran aprovecharse bien.

6. ***Las recolecciones deberían mezclarse dentro de las rutas de reparto, en vez de ser asignadas al final de las rutas.*** Las recolecciones deberían hacerse, dentro de lo posible, durante el curso de los repartos, para minimizar la cantidad de caminos que se cruzan, lo que puede ocurrir cuando se atienden dichas paradas después de hacer todos los repartos. El alcance al que puede hacerse esto dependerá de la configuración de los vehículos, del tamaño de los volúmenes de recolección y del grado de obstaculización que exista para no bloquear el acceso a la mercancía de reparto que haya dentro del vehículo.
7. ***Una parada que se halla a gran distancia de una agrupación de ruta es buena candidata para un medio alternativo de reparto.*** Las paradas que están aisladas de las agrupaciones de las paradas, especialmente aquellas con bajo volumen, son atendidas a costa de gran tiempo de conducción y gastos del vehículo. Usar pequeños camiones para manejar tales paradas puede ser más económico, dependiendo del aislamiento de cada parada en particular y de sus volúmenes. También sería buena alternativa usar un servicio de transporte de alquiler.
8. ***Deberían limitarse las paradas restringidas por momentos oportunos.*** Las restricciones de momentos oportunos en las paradas, cuando son limitadas, pueden forzar a que la secuencia de las paradas se aleje de los patrones ideales. Dado que las restricciones por momentos oportunos a menudo no son absolutas, debería renegociarse cualquier parada que tenga que ser atendida en un patrón de diseño de ruta menos deseado, con la esperanza de ampliar sus límites de momento oportuno.

Principios como estos pueden enseñarse fácilmente al personal de operaciones con el fin de obtener soluciones satisfactorias, aunque no necesariamente óptimas, para resolver problemas reales de programación y de diseño de ruta. Ellos suministran las líneas directrices para un buen diseño de rutas, aunque el personal de operaciones todavía tiene la libertad para tratar con las limitaciones no consideradas directamente en la metodología o las excepciones (pedidos urgentes, desviación en carreteras) que pueden ocurrir en cualquier operación por carretera. Los diseños de rutas desarrollados de esta manera pueden ofrecer mejoras sustanciales sobre otros métodos de programación y diseño de rutas no habituales.

Ejemplo

La Case Casket Company fabrica y distribuye una línea completa de ataúdes para casas funerarias. Las casas funerarias mantienen un pequeño inventario de los más populares, pero a menudo, los clientes seleccionan un ataúd de un catálogo. Por lo general, el director de una funeraria pedirá los ataúdes para reaprovisionar su inventario o para satisfacer las necesidades particulares de una familia. Los pedidos normalmente son de pequeñas cantidades, con frecuencia no más de un ataúd cada vez. Para atender este mercado, Case Casket tiene más de 50 almacenes de distribución localizados por todo Estados Unidos. Uno de tales almacenes y su territorio asociado se muestra en la figura 7-11. También se señalan las cantidades representativas de los pedidos de una semana y sus ubicaciones. El almacén opera con dos camiones especialmente enrejados, que transporta cada uno un máximo de 18 ataúdes. Los repartos se hacen durante cinco días a la semana. Deseamos desarrollar un plan de programación y de diseño de rutas para este territorio.

Siguiendo las líneas directrices para una buena programación y diseño de rutas, empezamos segmentando el territorio en cinco agrupaciones diarias de clientes, basadas en cinco días de reparto a la semana. Usando el principio número 3, reconocemos que los clientes deberían agruparse comenzando con el cliente más lejano, y luego ir añadiendo

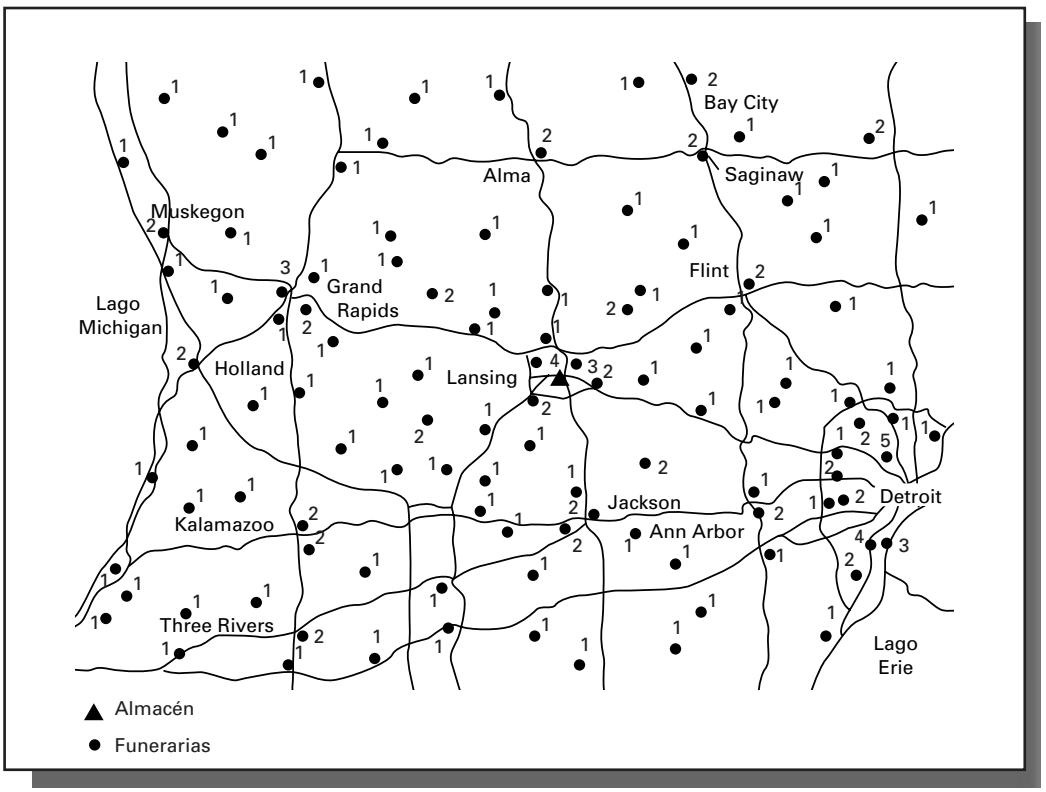


Figura 7-11 Ubicaciones de las casas funerarias y pedidos típicos de ataúdes de una semana, desde el territorio central de Michigan de la Case Casket Company.

clientes mediante movimientos progresivos hacia el almacén. Por consiguiente, construimos cuatro grupos de clientes por paradas distantes para los primeros cuatro días de la semana, y un grupo para el quinto día que atiende las paradas cercanas al almacén. Es deseable equilibrar la carga de trabajo para cada uno de los cinco grupos, con el fin de evitar la necesidad de utilizar más de dos camiones. Un tercer camión estaría infrautilizado algunos días. Comenzamos con un cuadrado de expansión en forma radial desde el almacén, para capturar suficiente volumen de paradas como para llenar dos camiones. Después, dado que Detroit es un punto de mercado dominante, lo dividimos en dos días. Recorriendo en ambas direcciones, capturamos más o menos el mismo volumen de paradas en cada una de las cuatro agrupaciones. Estas agrupaciones se muestran en la figura 7-12.

Después, cargamos los camiones y diseñamos los patrones de ruta. Cada día se considera por separado. Comenzando con la parada más lejana, agrupamos suficientes paradas lo más cercanas unas de otras, hasta llenar la capacidad de un camión. Luego seleccionamos la parada más lejana de las que quedan y repetimos el proceso para cargar el siguiente camión. Las paradas asignadas a un mismo camión se deben ordenar de tal manera que los caminos, dentro de una ruta, no se crucen y se expandan. El resultado son los diseños de las rutas para cada día de la semana, tal y como se muestra en la figura 7-13.

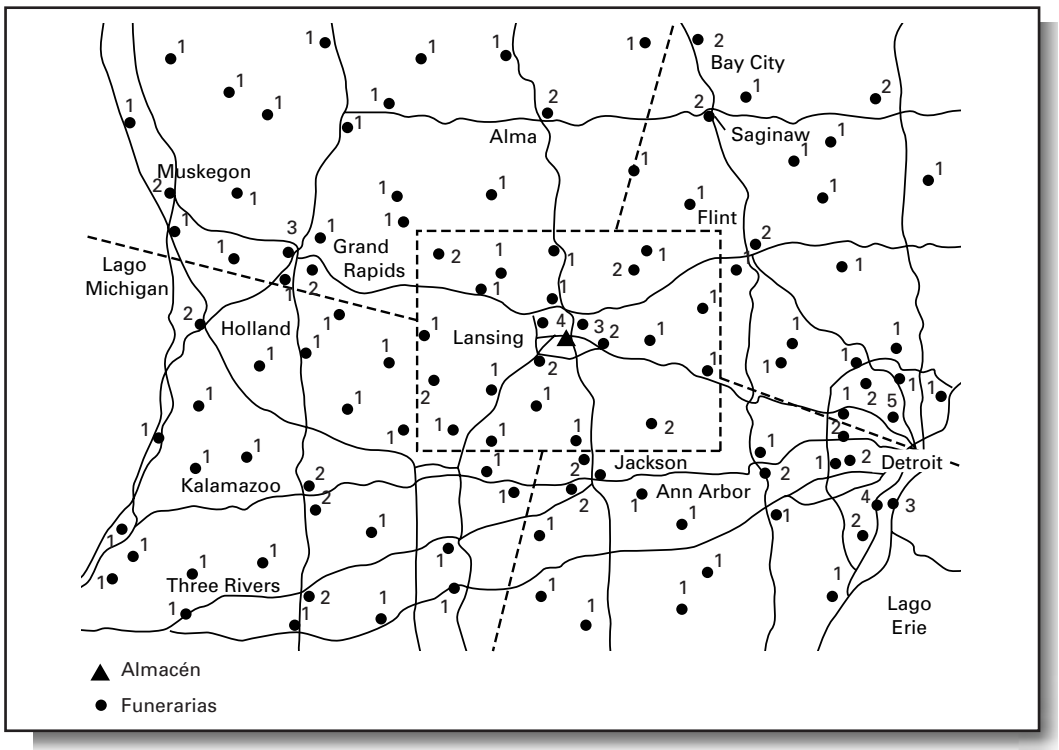


Figura 7-12 División del territorio de ventas en Michigan central de la Case Casket en grupos de clientes para cada día de la semana.

Métodos de programación y diseño de rutas

El problema de hallar buenas soluciones para el problema de la programación y del diseño de rutas para los vehículos llega a ser más difícil cuando se colocan limitaciones adicionales al problema. Unas pocas consideraciones prácticas que se necesitan dar para el diseño de la ruta son el momento oportuno, múltiples camiones con diferentes capacidades de peso y volumen, tiempo máximo de conducción permitido en una ruta, diferentes velocidades dentro de distintas zonas, barreras para viajar (lagos, desviaciones, montañas) y tiempos de descanso para el conductor. De entre los muchos enfoques que se han sugerido para manejar problemas tan complejos, examinaremos dos métodos. Uno es sencillo (el método "de barrido") y el otro (el método "de ahorros") es más complejo, manejando más consideraciones prácticas y produciendo soluciones de mayor calidad bajo un rango más amplio de circunstancias. En Gendreau y colaboradores pueden hallarse comentarios de otros procedimientos de solución, clasificados como: 1) algoritmos constructivos; 2) algoritmos de dos fases; 3) algoritmos de optimización incompleta, y 4) métodos de mejora.[12]

[12] Michel Gendreau, Alain Hertz, Gilbert Laporte, *op. cit*., págs. 1276-1290.

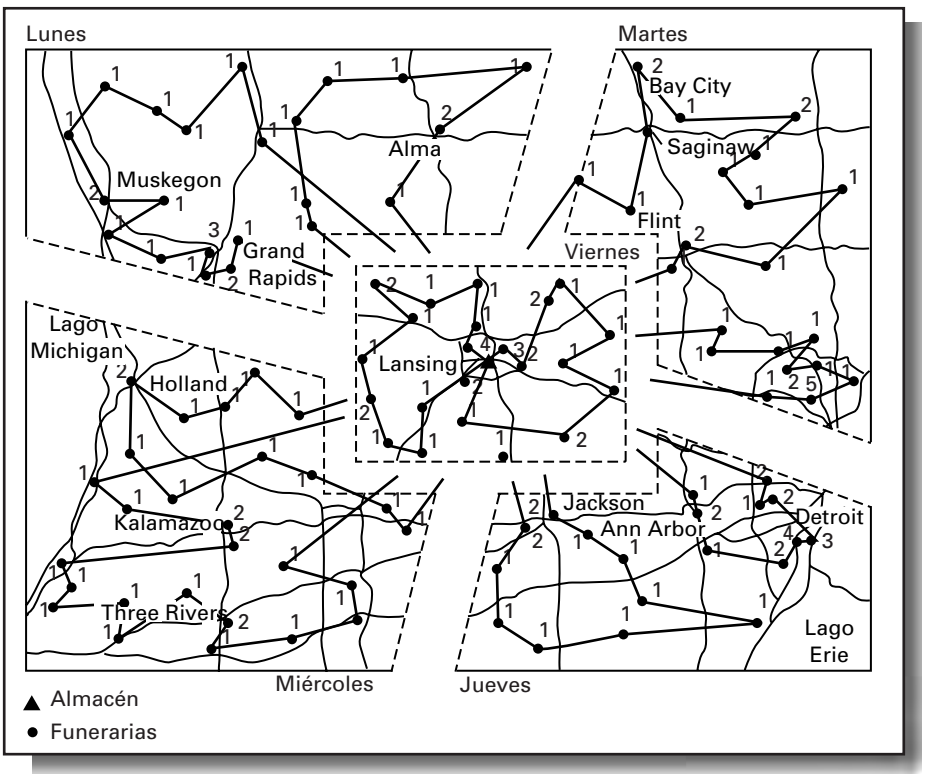


Figura 7-13 Diseño diario de rutas de reparto por carretera para la Case Casket Company.

El método "de barrido"

El método "de barrido" para el diseño de rutas de vehículos es lo suficientemente sencillo como para realizar cálculos manuales, incluso en problemas de gran tamaño. Cuando se programa en el software de la computadora, este método resuelve los problemas rápido, sin requerir enormes cantidades de memoria en la computadora. Para cierto tipo de problemas, la precisión se proyecta para producir una tasa de error promedio de aproximadamente 10%.[13] Este nivel de error de cálculo puede ser aceptable cuando los resultados tienen que obtenerse en pedidos cortos y se necesitan buenas soluciones, en contraposición con las óptimas. Los despachadores a menudo enfrentan la necesidad de generar patrones de diseño de rutas una hora después de recibir los datos finales sobre las paradas que tienen que hacer y sobre sus volúmenes.

La desventaja del método tiene que ver con la manera en la que se forman las rutas. El proceso tiene dos etapas: primero, las paradas se asignan a los vehículos, y luego se determina la secuencia de las paradas dentro de las rutas. Dado este proceso de dos etapas,

[13] Ronald H. Ballou, Yogesh K. Agarwal, "A Performance Comparison of Several Popular Algorithms for Vehicle Routing and Scheduling", *Journal of Business Logistics,* Vol. 9, Núm. 1 (1988), págs. 51-65.

el tema de sincronización, como el tiempo total empleado en una ruta y el permiso de momento oportuno, no están bien manejados.

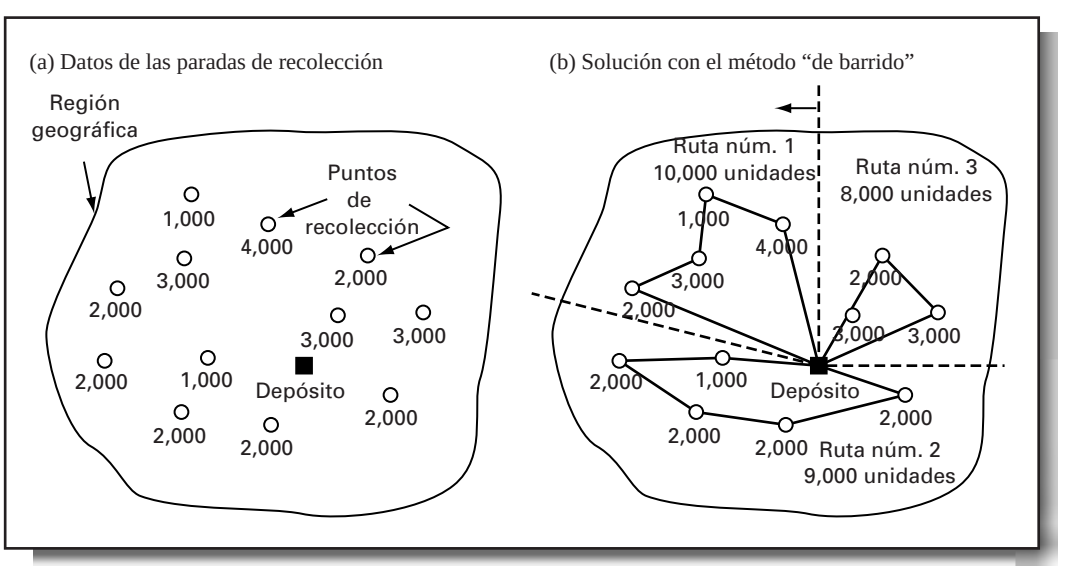
El método "de barrido" puede describirse como sigue:

1. Localizar todas las paradas, incluyendo el depósito, sobre un mapa o cuadrícula.
2. Trazar una línea recta desde el depósito en cualquier dirección. Girar la línea en el sentido de las manecillas del reloj, o en sentido contrario, hasta que intersecte una parada. Hacer la pregunta: Si la parada insertada está incluida en la ruta, ¿se excederá la capacidad del vehículo? Si la respuesta es no, se procede con la rotación de la línea hasta intersectar la siguiente parada. Hacer la pregunta: ¿Excederá la capacidad del vehículo el volumen acumulado? Se usan los camiones más grandes primero. Si la respuesta es sí, se excluye el último punto y se define la ruta. Continuando el barrido de la línea, se empieza una nueva ruta con el último punto que fue excluido de la ruta previa. Se continúa con el barrido hasta que todos los puntos se hayan asignado a las rutas.
3. Dentro de cada ruta se efectúa una secuencia de las paradas para minimizar la distancia. La secuencia puede lograrse aplicando el método de la gota de lágrima o usando cualquier algoritmo que resuelva el problema del "agente viajero".

Ejemplo

P.K. Smith Trucking Company utiliza camionetas para recoger mercancía de clientes lejanos. La mercancía se devuelve al punto de depósito, donde se consolida en grandes cargas para ser trasladadas a largas distancias. En la figura 7-14(a) se muestran las recolecciones típicas de un día. Las cantidades que se recogen se muestran en unidades. La compañía utiliza camionetas que pueden cargar 10,000 unidades. Para completar una ruta, por lo general se requiere todo el día. La compañía quiere determinar cuántas rutas

Figura 7-14 Diseño de rutas de P.K. Smith Trucking Company con el método de "barrido".



(camiones) se necesitan, qué paradas deberían hacerse en las rutas, y en qué secuencia deberían hacerse las paradas.

Comenzar el barrido con una línea dibujada al norte y correrla en sentido contrario a las manecillas del reloj. Esto es arbitrario. Se hace girar la línea en sentido contrario a las manecillas del reloj, recogiendo volumen hasta llegar a las 10,000 unidades con las que se llena el camión sin sobrecargarlo. Una vez que se hayan hecho las asignaciones de las paradas a los camiones, se ordenan las paradas de cada ruta usando el método de la "gota de lágrima". El diseño final de la ruta se muestra en la figura 7-14(b).

El método "de barrido" tiene la posibilidad de dar muy buenas soluciones cuando: 1) cada volumen de parada es una pequeña fracción de la capacidad del vehículo; 2) todos los vehículos tienen el mismo tamaño, y 3) no hay restricciones de tiempo en las rutas.

Método "de ahorros"

El método de valoración de ahorros de Clarke-Wright[14] ha permanecido a través de los años por ser lo suficientemente flexible como para manejar un amplio rango de restricciones prácticas, siendo relativamente rápido de calcular en una computadora para problemas con número moderado de paradas y capaz de generar soluciones que están cerca de lo óptimo. Las comparaciones con los resultados óptimos de problemas pequeños, con un número limitado de restricciones, han mostrado que la valoración del método "de ahorros" genera soluciones que están, en promedio, a 2% del óptimo.[15] El método puede manejar muchas restricciones prácticas, principalmente porque es capaz de formar rutas y ordenar paradas en las rutas simultáneamente.

El objetivo del método de ahorros es minimizar la distancia total viajada por todos los vehículos y minimizar indirectamente el número de vehículos necesarios para atender todas las paradas. La lógica del método es empezar con un vehículo simulado que cubre cada parada y que regresa al depósito, como se muestra en la figura 7-15(a). Esto da la distancia máxima para ser experimentada en el problema del diseño de ruta. Después, se combinan dos paradas en la misma ruta para que un vehículo pueda eliminarse y la distancia del viaje se reduzca. Para determinar las paradas que se van a combinar en una ruta, se calcula la distancia *ahorrada,* antes y después de la combinación. La distancia ahorrada al combinar dos puntos *(A* y *B)* que no estén de otra manera en una ruta con cualquier otra parada, se halla restando algebraicamente la distancia de la ruta mostrada en la figura 7-15(b) de la de la figura 7-15(a). El resultado es un valor de ahorro de $S = d_{0,A} + d_{B,0} - d_{A,B}$. Este cálculo se realiza para todos los pares de paradas. El par de paradas con el valor de ahorro más grande se selecciona para la combinación. La ruta revisada se ilustra en la figura 7-15(b).

El proceso de combinación continúa. Además de combinar las paradas sencillas, el proceso puede insertar otra parada en una ruta que contenga más de una parada. Por ejemplo, si un punto tiene que insertarse entra las paradas *A* y *B*, donde *A* y *B* están en la misma ruta, el valor de ahorro puede expresarse como $S = d_{0,C} + d_{C,0} + d_{A,B} - d_{A,C} - d_{C,B}$. Si la parada *C* tiene que insertarse después de la última parada (*B*) en una ruta, según la figura 7-15, el valor de ahorro sería $S = d_{B,0} - d_{B,C} + d_{0,C}$. Por lo contrario, si la parada *C* se inser-

[14] G. Clarke y J.W. Wright, "Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points", *Operating Research,* Vol. 11 (1963), págs. 568-581.
[15] Ballou y Agarwal, *op. cit*., págs. 51-65.

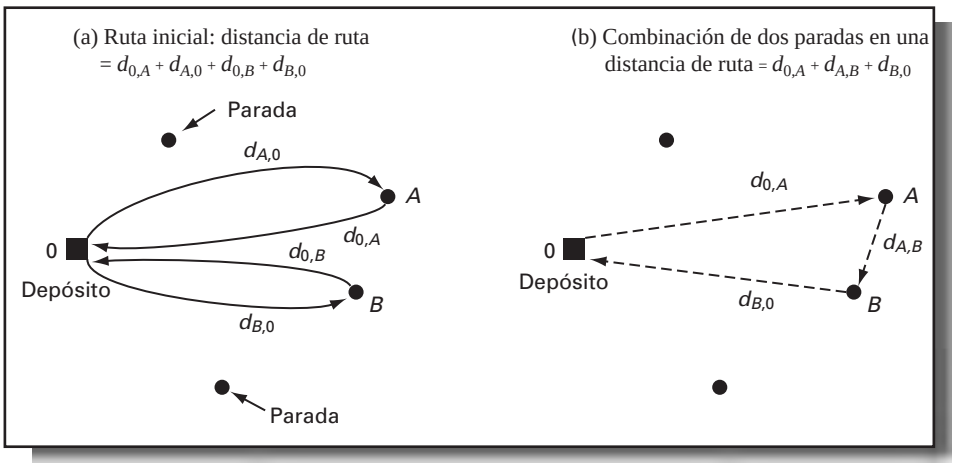


Figura 7-15 Distancia reducida de viaje mediante consolidación de paradas en una ruta.

ta *antes* de la parada *A*, el valor de ahorro es $S = d_{C,0} - d_{C,A} + d_{A,0}$. Los cálculos del valor de ahorro se repiten cada vez. El valor de ahorro más grande identifica la parada que debería considerarse para la inclusión en una ruta. Si esa parada no puede incluirse, debido a restricciones, como que la ruta sería ya demasiado larga, que no se alcanzaran los momentos oportunos, o que la capacidad de un vehículo se excediese, se considera para la inclusión la parada que tuviera el *siguiente* valor de mayor ahorro. El proceso repetitivo se continúa hasta que todas las paradas se hayan considerado.

La fuerte naturaleza de la valoración del ahorro permite incluir muchas restricciones que parecen tan importantes en las aplicaciones reales. La fuerza del método se debe a la capacidad de asignar, simultáneamente, una parada a una ruta y colocarla en un lugar en la propia secuencia de la ruta. Por lo tanto, antes de aceptar una parada en una ruta debe preverse la ruta con la nueva parada. Pueden hacerse diversas preguntas sobre el diseño proyectado de la ruta; por ejemplo, si el tiempo de la ruta excede su tiempo máximo permitido de conducción, si se ha alcanzado el tiempo de descanso de un conductor o su pausa para la comida, si está disponible un vehículo lo suficientemente grande como para aceptar el volumen de la ruta, y si se logra la parada de momento oportuno. Las violaciones a tales condiciones pueden rechazar la parada en toda la ruta o de ese lugar en particular en la secuencia de paradas. Se puede seleccionar, entonces, la siguiente parada según el mayor valor de ahorro y se repite el proceso de consideración. Este enfoque no garantiza una solución óptima, pero si se considera la compleja naturaleza del problema ampliado, puede hallarse una buena solución.

Ejemplo

Regal Metals fabrica mamparas de acero para lavabo destinadas a edificios comerciales. Una vez a la semana, los pedidos ($X = 460$, $Y = 720$) se acumulan en la planta de Toledo, Ohio, para su distribución a los sitios de construcción. La empresa posee cinco camiones con una capacidad de carga de 40,000 lbs (18 toneladas) cada uno. Para una semana en particular, tienen que hacer los siguientes repartos:

Lugar de construcción	X	Y	Tamaño de la orden, en libras
Milwaukee, WI	220	800	3,000
Chicago, IL	240	720	31,500
Detroit, MI	470	790	16,500
Buffalo, NY	670	860	6,000
Cleveland, OH	540	730	4,500
Pittsburgh, PA	630	680	6,750
Cincinnati, OH	420	570	3,750
Louisville, KY	370	490	6,000
St. Louis, MO	130	500	7,500
Memphis, TN	180	270	9,000
Knoxville, TN	480	360	5,250
Atlanta, GA	480	210	18,000
Columbia, SC	660	250	3,000
Raleigh, NC	760	390	6,750
Baltimore, MD	810	640	11,250
Total			138,750 lb

Los camiones se tienen que programar de tal manera que todos los pedidos de la semana se envíen de una vez, comenzando no más pronto que las 7:00 a.m. en Toledo, que las capacidades de los camiones no se excedan y que todos los camiones regresen a la planta de Toledo cuando la ruta se haya completado. Las restricciones adicionales son que todos los repartos tengan que hacerse entre las 7:00 a.m. y las 6:00 p.m., que los conductores tengan un descanso de una hora para comer, después de las 12 del mediodía, y una pausa en la noche (de 12 horas), después de las 7:00 p.m., y que haya una barrera de viaje impuesta en la región de los Grandes Lagos. La velocidad promedio de conducción es de 50 millas por hora, y el tiempo para descargar en cada parada es de 30 minutos. Las distancias de las carreteras se estiman que son 21% más largas que si fueran en línea recta, distancias coordenadas por computadora. Los costos de conductor y camión son de $1.30 por milla. Cuando no están viajando, los conductores son asignados a otros trabajos en la planta.

El software ROUTER en LOGWARE, que puede manejar las restricciones adicionales dentro de la valoración de ahorros, genera el plan de diseño de ruta mostrado en la figura 7-16. En la tabla 7-4 se da un resumen de las rutas, en tanto que en la tabla 7-5 se muestra un resumen de los tiempos. El costo total para los repartos es de 5,776 millas × $1.30 por milla = $7,508.80.

Tabla 7-4 Resumen de rutas para repartos de Regal Metals

		Tiempo				Distancia de	Tiempo de la	Peso de la	Tamaño
Ruta	Paradas[a]	Hora	Día	Comienzo	Día	ruta (millas)	ruta (horas)	ruta (libras)	camión (libras)
1	2,1	7:00 A.M.	1	1:44 P.M.	2	787	30.7	34,500	40,000
2	3,6	7:00 A.M.	1	9:11 A.M.	2	609	26.2	23,250	40,000
3	5,4,15,14	7:00 A.M.	1	5:03 P.M.	3	1,503	58.1	28,500	40,000
4	7,8,10,9	7:00 A.M.	1	3:22 P.M.	3	1,418	56.4	26,250	40,000
5	11,12,13	7:00 A.M.	1	3:40 P.M.	3	1,459	56.7	26,250	40,000
						5,776 mi.	228.1 hr.	138,750 lb	

[a] Paradas en secuencia de su reparto.

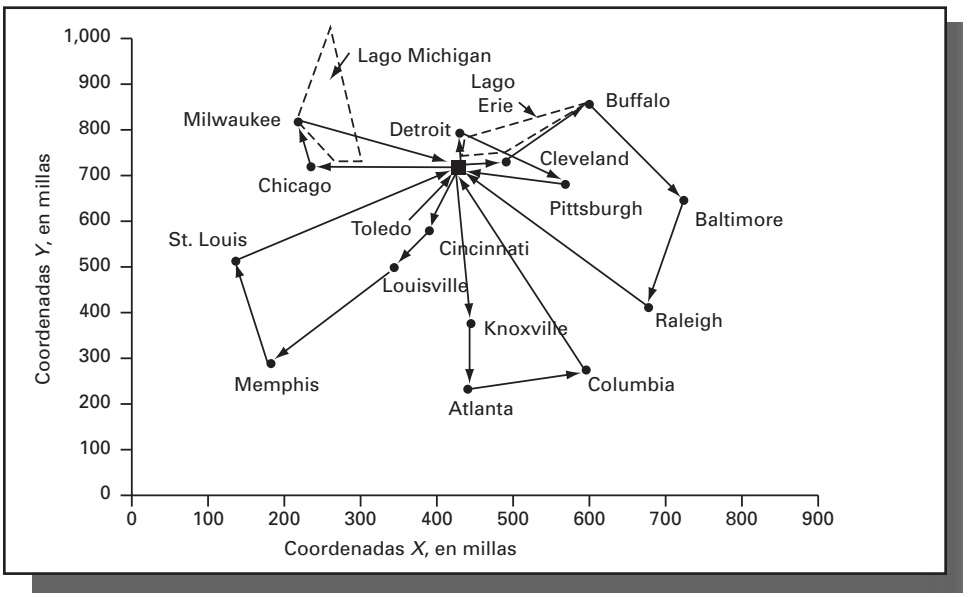


Figura 7-16 Plan de diseño de rutas para los repartos de Regal Metals según fue generado por el método "de ahorros" en ROUTER.

Tabla 7-5 Resumen de los tiempos de llegada para los repartos de Regal Metals

Parada	Tiempo de llegada	Día	Parada	Tiempo de llegada	Día
Milwaukee	3:49 P.M.	1	St. Louis	5:16 P.M.	2
Chicago	1:19 P.M.	1	Memphis	9:28 A.M.	2
Detroit	8:47 A.M.	1	Knoxville	4:43 P.M.	1
Buffalo	3:17 P.M.	1	Atlanta	8:51 A.M.	2
Cleveland	8:57 A.M.	1	Columbia	2:49 P.M.	2
Pittsburgh	4:27 P.M.	1	Raleigh	5:46 P.M.	2
Cincinnati	10:45 A.M.	1	Baltimore	10:05 A.M.	2
Louisville	2:32 P.M.	1			

Aplicación

Domino's Pizza, la cadena nacional de entrega de pizzas de $2.5 mil millones, se enorgullece de llevar sus pizzas a las puertas de los clientes de manera veloz. Sin embargo, su proeza logística comienza mucho antes de que un cliente reciba su pizza. Los 18 puntos de distribución de la compañía deben repartir ingredientes frescos y suministros a 4,256 tiendas varias veces a la semana, lo cual se traduce en unos costos de transportación anual por un total de $30 millones, o 65% del presupuesto total de Domino's. La planeación de la transportación para sus flotas de 160 camiones privados fue un gran esfuerzo que incluyó alfileres y enormes mapas de pared como herramientas para el diseño de ru-

tas. Este diseño manual de rutas fue administrado así casi cada año, pero no incluía nada desde un punto de vista operativo diario o en respuesta a los ambientes cambiantes. No era práctico rehacer el laberinto de conexiones y alfileres diariamente.

En respuesta a un mercado cada vez más competitivo, se instaló un software de programación y diseño de rutas. Los resultados fueron rotundos. En el centro de distribución de la compañía, en Connecticut, uno de los más grandes de Domino's, se desarrolló una nueva programación maestra en dos días. Esto posibilitó a este lugar reducir sus millas conducidas semanales promedio en 7,000, es decir, una reducción de 21%, y una reducción progresiva de su flota de trailers de 22 a 16.

A lo largo de toda su red de distribución, Domino's ha reducido radicalmente un estimado de un millón de millas de los viajes de su flota, lo que significa una reducción promedio al menos de 10% para cada centro de distribución. La planeación de la transportación ahora se lleva a cabo diario, en vez de cada año, como se hacía con el sistema manual anterior.[16]

Secuencia de las rutas

Las rutas diseñadas por los métodos de programación y diseño de rutas que se han descrito anteriormente suponen que se asigna una ruta a un vehículo específico. Si la ruta es de corta duración, el vehículo está subutilizado para el resto del tiempo disponible. En la práctica, sin embargo, si otra ruta comienza después que se complete la primera, el vehículo estará disponible para ser asignado a esa segunda ruta. Por lo tanto, el número de vehículos necesarios es determinado por asignación continua de las rutas de extremo a extremo, de tal manera que el vehículo tenga un mínimo de tiempo de reposo. Supongamos que un problema de diseño de ruta por carretera, con camiones del mismo tamaño, produce las rutas mostradas en la tabla 7-6.

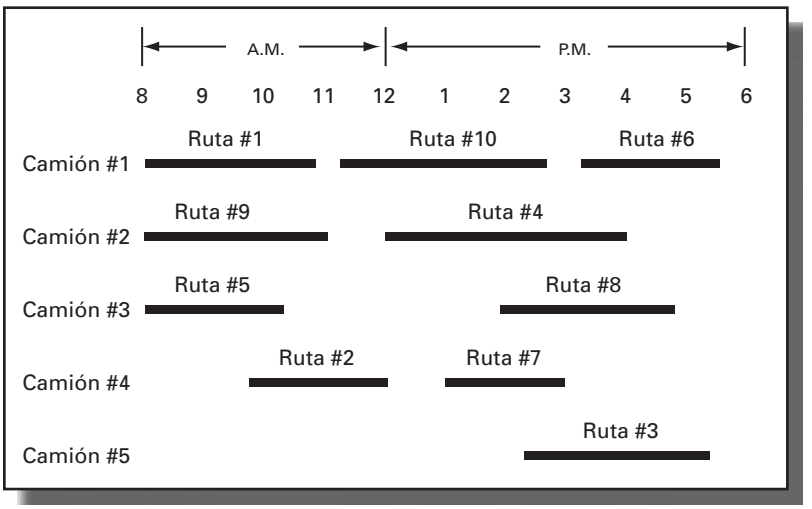
Ordenar estas rutas para periodos de un día con el fin de minimizar el tiempo ocioso del camión pudiera llevar al plan mostrado en la figura 7-17. Organizar de esta manera minimiza el número de camiones requerido para cubrir todas las rutas. Aunque las rutas se ordenan en forma manual, se puede diseñar un programa de computadora para ello y se puede integrar a la solución de programación y diseño de rutas, con el fin de suministrar un plan general para los camiones.

Tabla 7-6
Límites de tiempo de 10 rutas de camiones

Ruta	Hora de salida	Hora de regreso
1	8:00 A.M.	10:25 A.M.
2	9:30 A.M.	11:45 A.M.
3	2:00 P.M.	4:53 P.M.
4	11:31 A.M.	3:21 P.M.
5	8:12 A.M.	9:52 A.M.
6	3:03 P.M.	5:13 P.M.
7	12:24 P.M.	2:22 P.M.
8	1:33 P.M.	4:43 P.M.
9	8:00 A.M.	10:34 A.M.
10	10:56 A.M.	2:25 P.M.

[16] Kelly H. Madden, "Software Drives Down Transportation Costs", *Distribution* (febrero de 1997), págs. 50-51.

Figura 7-17
Secuencia de rutas para minimizar el número de camiones.



Una variante popular de este problema de secuencias se aplica a camiones que hacen los repartos en paradas con diferente frecuencia sobre un periodo amplio. Por ejemplo, los camiones hacen visitas cada semana o cada quince días a los clientes en el lapso de un mes. La frecuencia es determinada por el volumen del cliente. Los clientes cercanos al depósito pueden ser atendidos rápidamente, y el camión regresa al depósito antes de que termine la semana, quedando disponible para otra ruta dentro de la semana. Sin embargo, surge otro tema: las semanas concretas que se deben asignar a los clientes no semanales. Algunos clientes pueden ser repartidos en las semanas 1 y 3, en tanto que otros lo serán en las semanas 2 y 4. Una asignación cuidadosa de las paradas y de las cargas de la semana, por ejemplo, equilibrando las cargas cada semana, ayuda a minimizar el número de camiones necesarios en la flota.

Ejecución de métodos de programación y diseño de rutas para los vehículos

Los problemas de programación y diseño de rutas para los vehículos son ricos en variedad e interminables en el número y tipo de restricciones que pueden aplicarse. Los problemas de mover cargas menores que un camión de carga entre una red de terminales (como en el caso de Federal Express, United Parcel Service, o los transportistas comunes de LTL) son diferentes a las rutas de autobuses de escuela y al transporte de responsabilidad individual, como Dial-A-Ride (es un servicio donde las personas discapacitadas, enfermos o ancianos llaman por teléfono y una ambulancia o camioneta los recoge, traducido en algunos textos como "llamada para transporte"; *nota del traductor*). Además, siempre hay excepciones para el típico problema que debe manejarse como parte de las operaciones normales. Todos los problemas de programación y diseño de rutas de vehículos parecen requerir su propia valoración especial para encontrarles una solución. Incluso así, los métodos resultantes tal vez no manejen todo el problema. Si se usan en la práctica, debe tenerse cuidado en cuanto a la manera en la que se llevan a cabo.

Un método práctico para llevar a cabo la metodología de una solución cuantitativa en un medio operante es la técnica de tres pasos: *prever-resolver-revisar.* Se construye un

modelo que capturará tantos datos del problema real como sea práctico, dada la necesidad de resolverlo dentro de un tiempo razonable y con una solución de calidad. Los métodos de optimización a menudo se pueden usar para este propósito, dado que las características que son más difíciles de manejar óptimamente no están incluidas en la formulación del modelo. Las soluciones prácticas para los problemas reales se desarrollaron en un proceso de tres pasos. Primero, el analista *prevé* el problema por excepciones (entregas que requieren manejo especial) o entregas y recolección, que son obvios (movimientos de camión de carga completo). Después, por lo regular con la ayuda de una computadora, el problema reducido se *resuelve* y la solución queda disponible para el analista. Por último, el analista *revisa* la solución matemática y le hace modificaciones según sea necesario para hacerlo práctico.

Aplicación

Una gran compañía petrolera hace repartos de reaprovisionamiento a las estaciones de servicio que requieren uno o más grados de gasolina. Se usan camiones con compartimientos, ya que pueden contener diferentes números y cantidades de grados de gasolina, dependiendo del diseño particular de cada camión cisterna. El despachador del camión recibe diariamente los pedidos de las estaciones de servicio locales de su territorio en una terminal de distribución local. Las cantidades de pedidos y las ubicaciones varían.

Se desarrolló un modelo matemático de programación para planear rutas de 20 a 50 paradas. Este modelo fue diseñado para tratar el problema en su forma más general desde una típica base de datos de distancias de carretera, tiempos de viaje, y disponibilidad de camiones y conductores. Sin embargo, no se podría esperar que el modelo diera abasto con todas las complicaciones del diseño diario de rutas.

Los despachadores no dependen ni confían por completo del modelo para generar buenos diseños de rutas en todos los casos. Primero prevén los pedidos diarios para solicitudes especiales de distribución y excepciones de los patrones normales, clasificando desde repartos de urgencia y cantidades de carga de camión hasta mezclas especiales de productos que no pueden mezclarse con los productos regulares. Las rutas de estos casos se diseñan a mano, dejando el resto de los pedidos para ser sometidos al modelo de diseño de rutas de la computadora. Aunque este modelo puede garantizar una solución óptima al problema matemático del diseño de rutas, el despachador lo usa sólo como una solución guía del problema, el cual más tarde es revisado para ver su funcionalidad. Tal vez se necesite hacer ajustes en el programa del calendario, por razones como cumplir con las reglas de los sindicatos, rutas alrededor de desviaciones temporales de carreteras, y pedidos de última hora. Por eso, el despachador y el modelo de computadora trabajan juntos para producir una buena programación de diseño de rutas que satisfaga el servicio al cliente y logre los objetivos de minimizar costos, dentro de unos parámetros razonables de tiempo y esfuerzo.

Programación y diseño de rutas fluviales y marítimas

Hasta este punto, gran parte de los comentarios sobre programación y diseño de rutas se ha referido a vehículos por carretera. En contraste, ilustraremos un problema de programación y diseño de rutas para barcos que navegan entre diferentes puertos. Un problema así se caracteriza por la necesidad de minimizar el número de embarcaciones requeridas, debido a los altos costos fijos, a la vez que hay que cumplir con las fechas prometidas de

entrega y recolección en los diversos puertos. La capacidad de transporte se supone adecuada para cualquier movimiento entre los puntos de origen y destino, además de que se conocen los tiempos de movimiento entre los puntos. Este tipo de problema puede formularse como de programación lineal de transporte.

Ejemplo[17]

Una refinadora europea de petróleo posee tres refinerías (D_1, D_2 y D_3) a lo largo de la costa europea. La compañía obtiene petróleo desde dos puertos (L_1 y L_2) en el Medio Oriente. El petróleo crudo se mueve entre los puertos de carga y descarga usando buques-tanque. Los tiempos de navegación, expresados en días, entre los puertos más el tiempo requerido para la carga y la descarga se suman en la siguiente matriz:

TIEMPOS DE NAVEGACIÓN MÁS CARGA

	Puntos de descarga		
	D_1	D_2	D_3
Carga L_1	21	19	13
Carga L_2	16	15	12

Para simplificar, los tiempos entre los puertos, sin importar la dirección, se supone que son los mismos, y los tiempos de carga y descarga son iguales. Basados en los requerimientos de los próximos dos meses, la refinería necesita entregar en los siguientes días, contando desde el día de hoy:

Desde	L_2	L_1	L_1	L_2
Hacia	D_3	D_1	D_2	D_3
En el día	12	29	51	61

Debido a los tiempos de carga y de navegación, se supone que la carga tiene que llevarse a cabo de acuerdo con las siguientes fechas, si se quieren cumplir los tiempos de descarga:

ÚLTIMOS TIEMPOS DE CARGA

Hacia	D_1	D_2	D_3
Desde L_1	8	32	—
Desde L_2	—	—	0 y 49

A la compañía le gustaría saber cuántos barcos necesita para alcanzar este programa, y cuál debe ser la ruta de cada barco.

Se puede desarrollar una matriz de costo inicial del problema de transporte, como se muestra en la figura 7-18. Las filas representan los estados terminales y las columnas los estados iniciales. Los valores de demanda y los valores de suministro son el número de veces que ocurre cada estado. En nuestro caso, todos los valores rim *(residual income model,* modelo de ingresos residuales) de demanda y suministro son iguales a 1. Después, debemos reconocer que sólo ciertas celdas tienen valores viables de solución. Por ejemplo, la celda en la fila = 4, columna = 2 no puede ser viable, porque un barco no puede di-

[17] Basado en el ejemplo original por George B. Danzig y D. R. Fulkerson, "Minimizing the Number of Tankers to Meet a Fixed Schedule", *Naval Research Logistics Quarterly,* Vol. 1, Núm. 3 (septiembre de 1954), págs. 217-222.

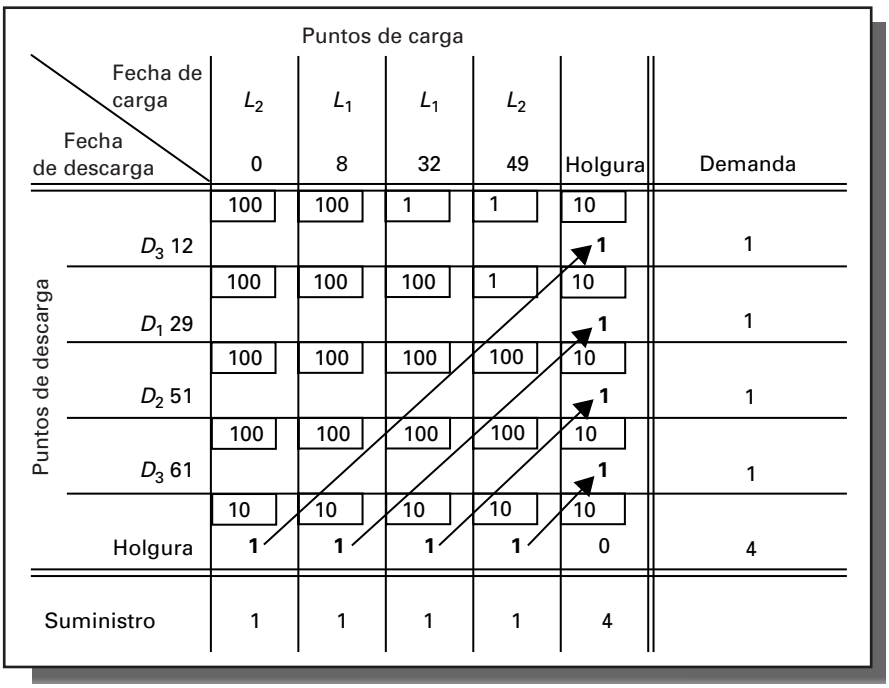


Figura 7-18 Establecimiento del problema de transportación conforme a la divergencia de programación de barcos con solución inicial.

rigirse desde la descarga el día 61 para llegar a la fecha de carga el día 8. Se examinan todas las celdas de esta manera, y a las que no sean válidas se les da un costo de celda muy alto, digamos 100 unidades de costo, para sacarlas de la solución. A las celdas viables se les asignan arbitrariamente costos bajos, digamos 1 unidad de costo. Los costos de celdas de holgura deberían ser moderadamente altos para desanimar que sean asignados, digamos 10 unidades de costo. Se puede alcanzar una solución inicial viable para nuestro problema haciendo una asignación inicial a las celdas de holgura. Por supuesto, esta solución representa el número máximo de barcos que puedan necesitarse.

La matriz de costos por cualquier método de transporte apropiado[18] conduce a la matriz de soluciones que se muestra en la figura 7-19. Para leer esta solución, comenzamos con la condición inicial en la columna = 1, y después hay que encontrar la celda con valor de solución = 1, asociada a la condición terminal en la fila = 1. Esta celda es la fila = 1, columna = 3. Luego, buscamos una celda con un valor de solución = 1 para la fila = 3, el cual es igual al número de columna previo de 3. Esta es ahora una celda de holgura y nos detenemos. Repetimos para el siguiente valor de columna disponible hasta que no existan más números 1 disponibles en las fila de holgura. El primer diseño de la ruta, como se muestra en la figura 7-19, es un camino conectado de L_2, 0 → D_3, 12 → L_1,32 → D_2,51. Comen-

[18] TRANLP es el módulo del método de transportación en LOGWARE.

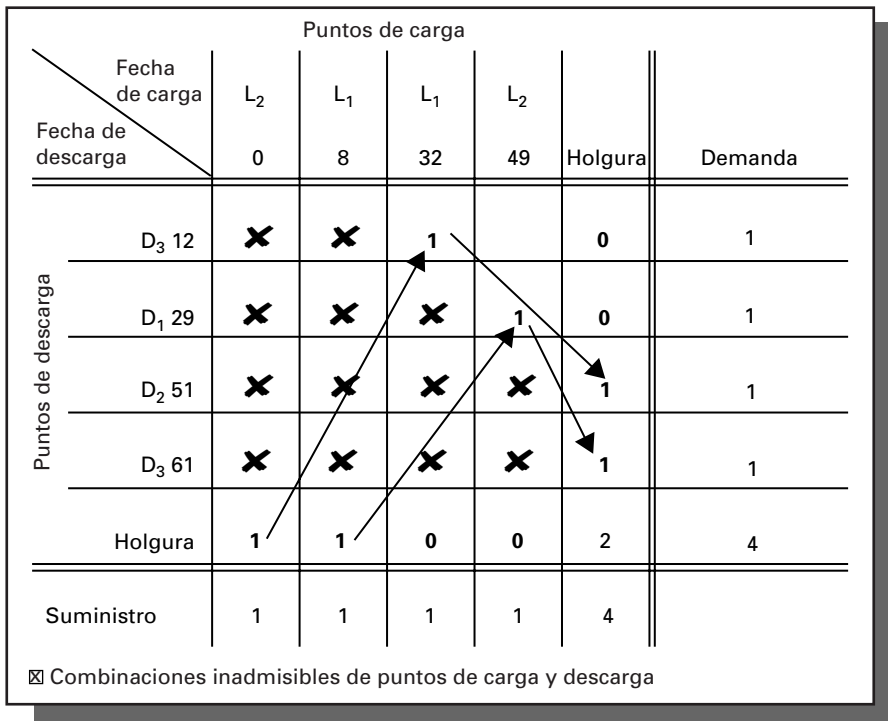


Figura 7-19 Matriz de soluciones para el problema de la programación de barcos.

zando con la segunda condición inicial, trazamos un camino similar de L_1,8 → D_1, 29 → L_2,49 → D_3,61. Dado que hay dos rutas distintas, se requieren dos barcos.

Consolidación del flete

En la transportación, las tarifas reducidas que corresponden a los tamaños más grandes de envíos animan a los gerentes a embarcar en grandes cantidades. Consolidar pequeños envíos en otros grandes es la principal manera de alcanzar un costo menor de transportación por unidad de peso. La consolidación del envío se logra normalmente de cuatro maneras. Primero, hay consolidación del *inventario*. Es decir, se crea un inventario de artículos a partir del cual se atiende la demanda. Esto permite que se hagan envíos grandes, e incluso de vehículos de carga completa dentro del inventario. Esto es un principio fundamental del control de inventario y se expone en el capítulo 9 sobre control de inventarios.

Segundo, hay consolidación del *vehículo*. En este caso, cuando la recolección y el reparto son menores que la capacidad de carga del vehículo, se coloca en el mismo vehículo más de una carga de recibo o de entrega para un transporte más eficiente. Los procedimientos de programación y diseño de rutas para los vehículos promueven este tipo de economía. Este fenómeno se ha presentado en este capítulo.

Tercero, hay consolidación del *almacén*. La razón fundamental para el almacenamiento es permitir la transportación de grandes volúmenes o tamaños de envío a través de grandes distancias, y la transportación de volúmenes o tamaños pequeños de envíos a cortas distancias. Un almacén que se utiliza en una operación de carga suelta es un ejemplo. Las economías de almacenaje se estudian en el capítulo 11 sobre almacenamiento o depósito.

Cuarto, hay consolidación *temporal*. En este caso, los pedidos de los clientes se retienen, de manera que pueden hacerse de una vez pocos envíos más grandes, en vez de hacer muchos envíos pequeños en varios tiempos. Las economías de transportación se logran mediante mejores diseños de ruta para los envíos más grandes, así como mediante tarifas más bajas por unidad. Por supuesto, estos costos son, por lo general, una compensación por los efectos de deterioro del servicio que resulta de no enviar los pedidos tan pronto como se reciben y se llenan. Los ahorros de costos son obvios, pero los efectos en el servicio pueden ser difíciles de estimar.

Ejemplo

El envío (clase 100, descuento de 40%) de pedidos del distribuidor para una compañía de procesamiento de alimentos desde su planta en Fort Worth, Texas, al territorio de ventas de Kansas puede ilustrar la consolidación temporal. Un análisis de los pedidos anteriores desde tres ciudades de Kansas, en un periodo consecutivo de tres días, muestra los siguientes volúmenes de pedido:

	Desde Fort Worth (76102)	*Día 1*	*Día 2*	*Día 3*
Hacia	Topeka (66603)	5,000 lb	25,000 lb	18,000 lb
	Kansas City (66101)	7,000	12,000	21,000
	Wichita (67202)	42,000	38,000	61,000

Normalmente, la compañía ha enviado los pedidos el mismo día que los recibe. La dirección se está preguntando si valdría la pena la reducción del servicio, lo que supondría una consolidación de tres días de los pedidos.

Con las tarifas (en $/cwt) cotizadas por los transportistas que operan en la región (si los pedidos se enviaran el día en que se reciben), se incurre en los siguientes costos:

	Día 1 *Tarifa* × *Volumen* = *Costo*	Día 2 *Tarifa* × *Volumen* = *Costo*	Día 3 *Tarifa* × *Volumen* = *Costo*	Totales
Topeka	16.41 × 50 = $ 820.50	9.91 × 250 = $2,477.50	14.90 × 180 = $2,682.00	$ 5,980.00
Kansas City	15.87 × 70 = 1,110.90	14.38 × 120 = 1,725.60	9.55 × 210 = 2,005.50	4,842.00
Wichita	6.33 × 420 = 2,658.60	6.33 × 400[a] = 2,532.00	6.33 × 610 = 3,861.30	9,051.90
Total	$4,590.00	$6,735.10	$8,548.80	$19,873.90

[a] Envío de 380 cwt como si fuera carga de camión completo de 400 cwt.

Si los pedidos se retuvieran durante tres días y luego se enviaran, los costos de transporte serían

Tarifa × Volumen = Costo		
Topeka	7.09 × 480[a] =	$ 3,403.20
Kansas City	6.83 × 400 =	2,732.00
Wichita	6.33 × 1410 =	8,925.30
Total		$15,060.50

[a]480 = 50 + 250 + 180.

Los ahorros en el costo del transporte de una consolidación del pedido serían de $19,873.90 – 15,060.50 = $ 4,813.40. Ahora, una investigación debe mostrar el efecto que un tiempo prolongado del ciclo de pedido tendría en las ganancias para los clientes (de manera que fueran comparables con estos costos), o bien la dirección deberá decidir si ahorrar $4,813.40 es suficiente para justificar una reducción en el nivel de servicio.

Comentarios finales

Las decisiones de transportación son algunas de las decisiones más importantes con las que se enfrenta el encargado de la logística. En este capítulo se examinaron los problemas de transporte que ocurren con más frecuencia, incluyendo la selección de la modalidad, el diseño de rutas del transportista, la programación y el diseño de rutas del vehículo y la consolidación del flete. Afortunadamente, estos problemas de decisión pueden valorarse en forma razonable por el análisis matemático, y se ha ilustrado cierto número de estas técnicas.

Preguntas

1. Una empresa que fabrica suministros de investigación médica los reparte a hospitales y centros médicos de todo el país. Los repartos pueden hacerse usando camión menor que un camión de carga, transporte aéreo urgente, flota privada de camiones y UPS. ¿Qué factores se deberían considerar para seleccionar una de estas alternativas? Clasifíquelos en términos de su importancia.
2. Explique por qué el desempeño de un servicio de transporte debería ser considerado en su selección.
3. Suponga que debe viajar en automóvil desde la ciudad de Nueva York hasta Los Ángeles. Cuando seleccione las carreteras por las que viajará, ¿qué importancia le dará a las rutas que minimicen el *tiempo* de viaje frente a aquellas otras que minimicen la *distancia* del viaje? ¿Debería una compañía de camiones darle la misma importancia cuando reparta el flete?
4. ¿Cuáles son las semejanzas y las diferencias entre diseñar las rutas de los autobuses de escuela y las de los camiones locales de reparto y recolección de Federal Express?
5. ¿Cuáles son las diferencias entre el problema de diseño de rutas y el de programación y diseño de rutas de vehículos?
6. ¿Cuáles son las características del enfoque de ahorros en la programación y diseño de rutas de vehículos que permiten manejar tantas restricciones y condiciones reales?
7. Describa la técnica de *prever-resolver-revisar* para ejecutar modelos de cómputo de programación y diseño de rutas dentro del lugar de trabajo. ¿Cuáles son sus ventajas?
8. ¿Qué medidas tomaría para ayudar a los despachadores de camiones a aceptar y usar el tipo de tecnología de programación y diseño de rutas descrito en este capítulo?

9. Describa los cuatro tipos de consolidación de flete. En la consolidación de flete *temporal*, ¿cómo propondría hallar el efecto en las ganancias de retener pedidos con el propósito de reducir los costos de envío?

PROBLEMAS

Determinado número de problemas y estudios de casos de este capítulo pueden resolverse, o sólo se hace en forma parcial, con la ayuda de un software de computadora. Los paquetes de software en LOGWARE (que son los más importantes en este capítulo) son TRANLP (*T*), ROUTE (*RO*), ROUTER (*R*) y ROUTESEQ (*RS*). El símbolo del CD aparecerá con la designación del paquete de software, en el que uno de estos programas ayuda en el análisis del problema. Si se requiere ampliar la entrada de datos, se puede preparar una base de datos para el problema. Cuando el problema pueda resolverse sin la ayuda de una computadora (a mano), se muestra el símbolo de una mano. Si no aparece ningún símbolo, se supone cálculo manual.

1. Wagner Company suministra motores eléctricos a Electronic Distributors, Inc., con base en el precio de reparto. Wagner tiene la responsabilidad de suministrar la transportación. El gerente de tráfico tiene tres opciones de servicio de transportación para el reparto: ferrocarril, plataforma y camión. Ha recopilado la siguiente información:

Modo de transporte	Tiempo en tránsito (días)	Tarifa, $/unidad	Tamaño del envío (unidades)
Ferrocarril	16	25.00	10,000
Transporte multimodal	10	44.00	7,000
Camión	4	88.00	5,000

Electronic Distributors compra 50,000 unidades al año a un precio de reparto por contrato de $500 por unidad. El costo de manejo de inventario para ambas compañías es de 25% anual. ¿Qué modo de transporte debería seleccionar Wagner?

2. Supongamos que se están considerando dos servicios de camiones para hacer repartos desde una planta de la compañía hasta uno de sus almacenes. El servicio de *B* es más barato pero más lento y menos confiable que el servicio de *A*. Se ha armado la información siguiente:

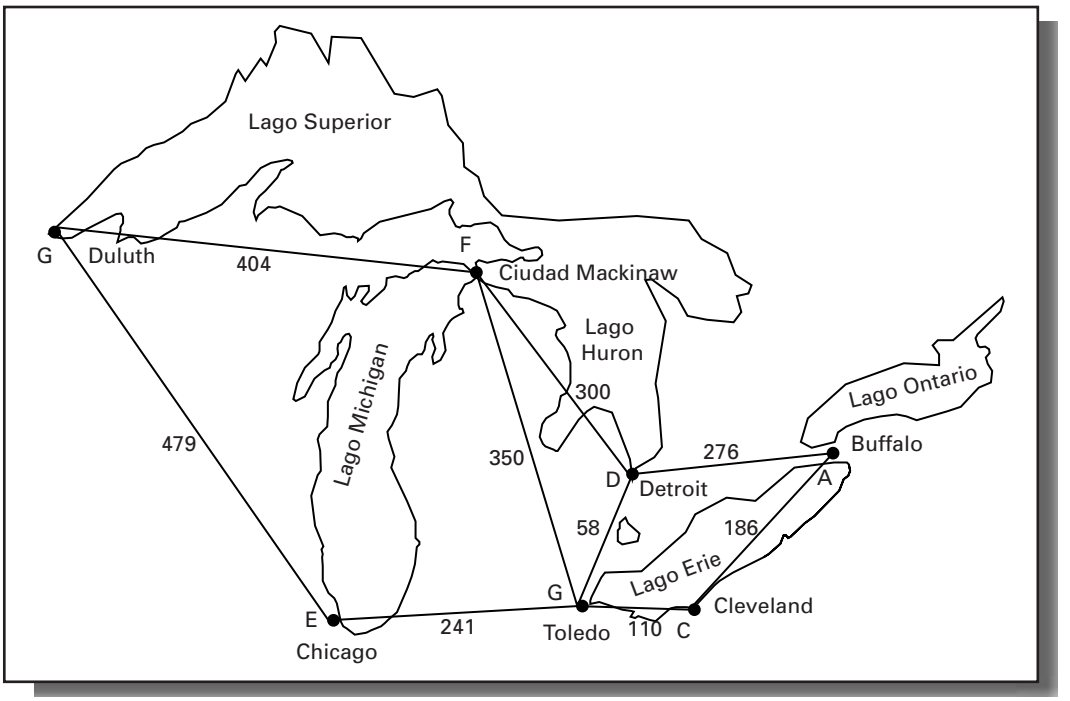
Demanda (conocida)	9,600 cwt./año
Costo del pedido	$100/pedido
Precio del producto, fuente f.o.b.	$50/cwt.
Cantidad de envío	Como por EOQ
Costo de manejo en tránsito	20%/año
Costo de manejo de inventario	30%/año
Probabilidad de existencias durante el tiempo de suministro	90%
Costos por no tener existencias	Desconocido
Días de venta	365 días/año

	Servicio	
	A	B
Tiempo de tránsito (*LT*)	4 días	5 días
Variabilidad (dev. estándar, s_{TE})	1.5 días	1.8 días
Tarifa	\$12.00/cwt.	\$11.80/cwt.

En el almacén se usa un método de control del punto de reorden para control de inventarios. Desde el punto de vista del inventario en el almacén, ¿qué servicio de camiones debería seleccionarse? (*Nota*: Consulte el capítulo 9 sobre control de inventarios para comentar el método del punto de reorden en el control de inventarios. *Consejo*: La desviación estándar de la distribución durante el tiempo de la demanda es $s' = d(s_{LT})$, donde s_{LT} se supone que es la variabilidad del tiempo de tránsito y d es la tasa diaria de demanda.

3. La Transcontinental Trucking Company desea diseñar una ruta para efectuar un envío de Búfalo a Duluth a través de importantes autopistas. Dado que el tiempo y la distancia están estrechamente relacionados, al despachador de la compañía le gustaría encontrar la ruta más corta. En la figura 7-20 se muestra una red esquemática de los vínculos de las autopistas importantes y de las millas entre los pares de ciudades. Halle la ruta más corta en la red usando el método de la ruta más corta.
4. El U.S. Army Material Command estaba preparando los arreglos finales para mover su transporte de personal blindado M113 totalmente a oruga desde las diversas instalaciones de fabricación de sus subcontratistas a las instalaciones de almacenamiento intermedias en

Figura 7-20 Posibles rutas para el problema de Transcontinental Trucking Company.



Letterkenny, Pennsylvania, para aquellas unidades destinadas a Europa y para algunas bases del ejército dentro de Estados Unidos. El programa de producción para diciembre, más las unidades disponibles en la planta, además de los requerimientos para diciembre, se muestran como sigue:[19]

Esquema de producción para diciembre

Cleveland, OH	150 unidades más 250
Sur de Charleston, WV	150
San José, CA	150

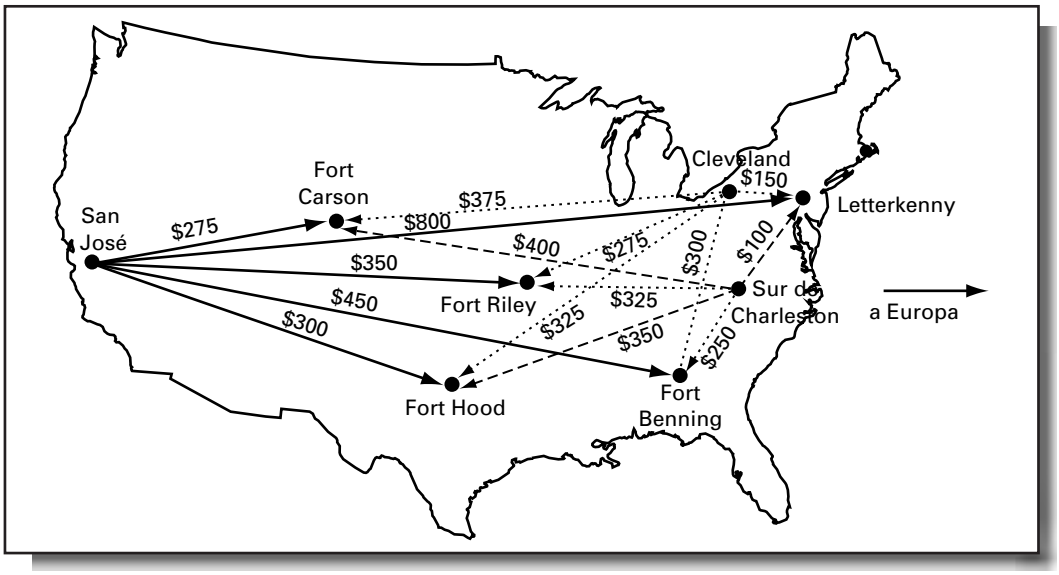
Requerimientos para diciembre

Ejército de EU, Europa vía Letterkenny, PA	300 unidades
Fort Hood, TX	100
Fort Riley, KS	100
Fort Carson, CO	100
Fort Benning, GA	100

La figura 7-21 muestra la ubicación de los puntos de suministro y demanda, así como los costos de transportación por unidad, desde los puntos de suministro hasta los de demanda.

Halle el plan de reparto con el menor costo posible para diciembre para satisfacer los requerimientos, pero sin exceder los requerimientos de los programas de producción.

Figura 7-21 Red de transportación con costos relacionados para el problema de la U.S. Army Material Command.



[19] Este problema fue adaptado a partir de un caso de estudio del Coronel James Piercy.

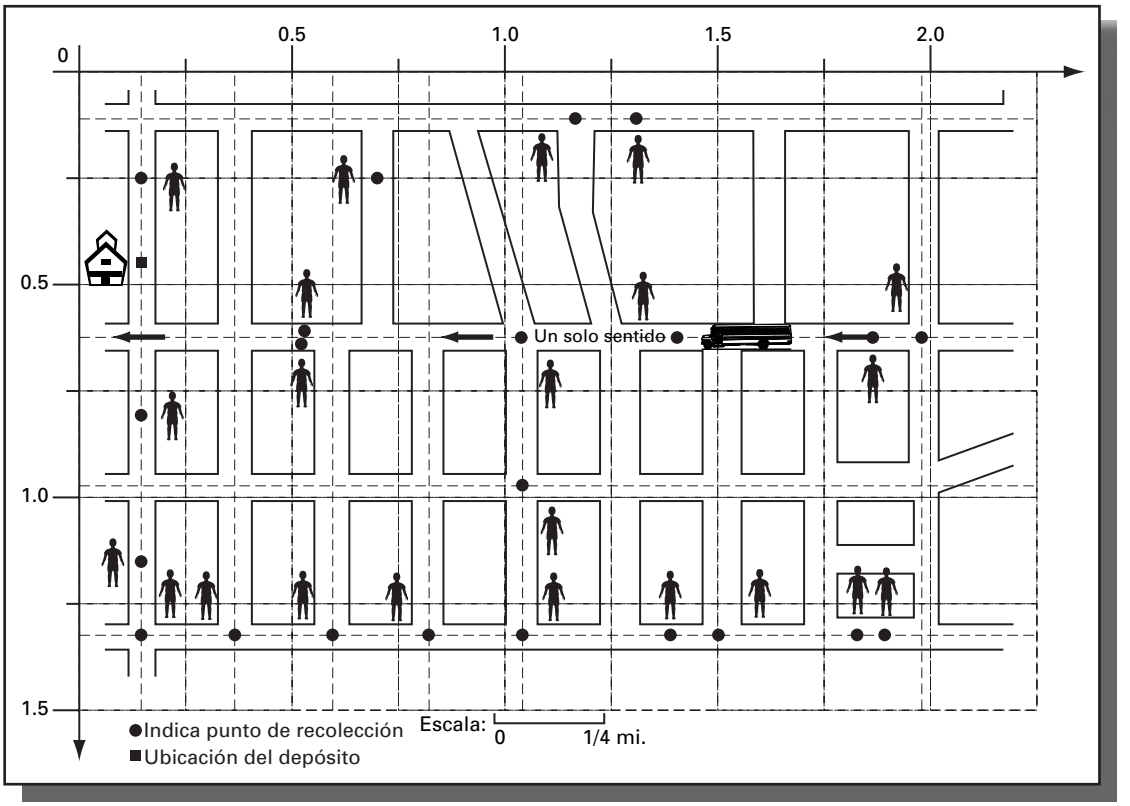


Figura 7-22 Ejercicio de ruta de autobús escolar.

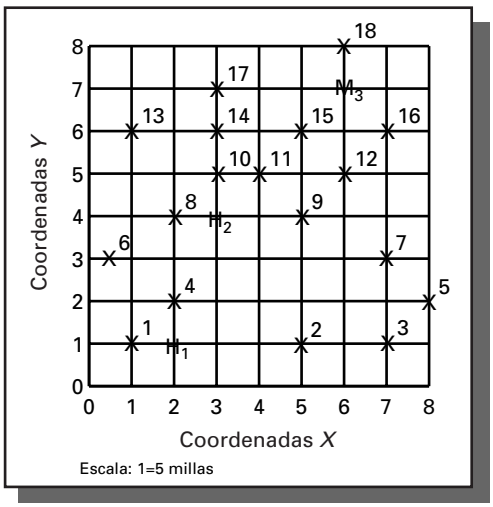
5. El Distrito Escolar Local Evansville suministra transportación en autobús para sus escolares de nivel elemental (o primaria). Se ha designado un autobús al barrio, como se indica en la figura 7-22. Cada año hay una nueva lista de niños, y la ubicación de las paradas para ellos puede trazarse en un mapa. Organizar las paradas determina el tiempo y la distancia requeridos para completar la vuelta del autobús. Usando sus mejores habilidades cognoscitivas, diseñe la vuelta más corta posible para el autobús dadas las siguientes condiciones:[20]

   - Se usa un único autobús.
   - El autobús comienza en la escuela primaria y vuelve a ella.
   - Hay que hacer cada parada.
   - Los niños pueden abordar o bajar del autobús en cualquier lado de la calle.
   - Se puede hacer abordar o bajar en una esquina, desde cualquier calle adyacente.
   - No se permiten las vueltas en U.
   - El autobús tiene la capacidad adecuada para transportar a todos los niños de la ruta.

   Use una regla o una cuadrícula lineal para determinar la distancia total de la vuelta del autobús.

[20] Adaptado del ejercicio de ruta por William L. Berry.

Figura 7-23
Cuentas de tiendas (*X*) y ubicaciones de los hoteles (*H*)



6. Dan Pupp es un vendedor de joyas que visita a sus clientes de tiendas en el Medio Oeste de Estados Unidos. Uno de sus territorios se muestra en la figura 7-23. Su modo de operación es llegar al territorio la noche antes de realizar sus llamadas y permanecer en uno de los hoteles locales. Cubre la región en dos días y se va a la mañana del tercer día. Dado que él paga sus propios gastos, le gustaría reducir al máximo sus costos totales de atención a sus clientes. Los clientes del 1 a la 9 los cubre el primer día, y al resto los visita el segundo día. Le gustaría comparar dos estrategias:

   Estrategia 1. Permanecer en el hotel H_2 las tres noches a \$49 la noche.

   Estrategia 2. Quedarse dos noches en el hotel H_1 para visitar a los clientes 1 al 9, a \$40.00 la noche. Luego se quedaría en el hotel H_3 una noche, a \$45.00 la noche, para visitar a los clientes 10 a 18. Después de visitar a los clientes 1 a 9, vuelve a H_1 para pasar la noche antes de dirigirse a H_3. Luego se queda la noche en H_3 antes de irse a la mañana siguiente. La distancia entre H_1 y H_3 son 36 millas.

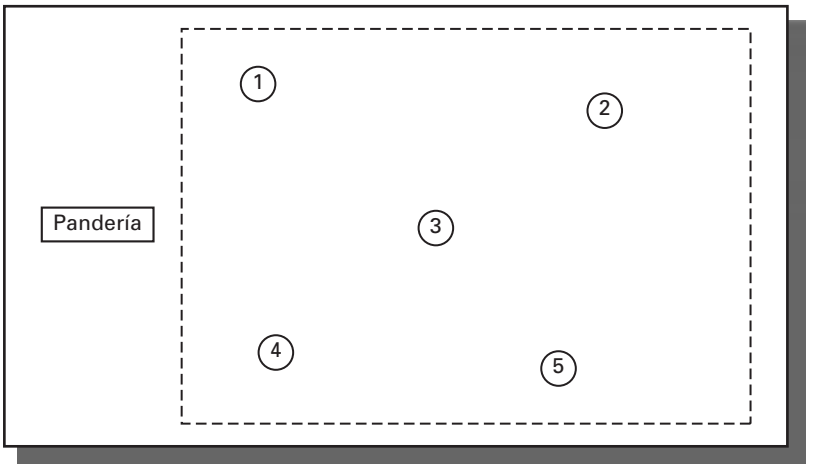
   Haga caso omiso de cualquier distancia que viaje hacia el territorio y desde éste. Dan calcula los gastos de viaje en \$0.30 por milla.

   ¿Qué estrategia parece mejor para Dan?

7. Un panadero reparte diariamente a cinco grandes tiendas minoristas en un territorio definido. El conductor de la panadería carga los artículos en la panadería, hace los repartos a las tiendas minoristas y vuelve a la panadería. En la figura 7-24 se muestra un diagrama del territorio. Los tiempos relacionados con la red de viaje en minutos son:

Hacia →		B	1	2	3	4	5
	B	0	24	50	38	55	20
	1	22	0	32	23	45	18
Desde	2	47	35	0	15	21	60
	3	39	27	17	0	14	25
	4	57	42	18	16	0	42
	5	21	16	57	21	41	0

Figura 7-24
Mapa de rutas del territorio de la panadería.



Note que debido a las calles de un solo sentido y las desviaciones, los tiempos de viaje son ligeramente diferentes, dependiendo de la dirección (asimétrica).

a. ¿Cuál es la mejor secuencia de rutas para el camión de reparto?
b. Si los tiempos de carga y descarga son importantes, ¿cómo podrían incluirse en el análisis?
c. La tienda minorista 3 está localizada en un área urbana tan densamente poblada que los tiempos de viaje hacia ese punto y desde el mismo pueden aumentar hasta 50%, dependiendo de la hora del día. Los tiempos de viaje de los otros puntos permanecen relativamente sin cambios. ¿Sería la solución de la parte (a) sensible a dichas variaciones?

R

8. Sima Donuts suministra a sus tiendas minoristas los ingredientes para hacer donas frescas. En Atlanta se localiza un almacén central desde el cual se despachan los camiones. Éstos salen del almacén de Atlanta a las 3 a.m. para entregar las tarimas de carga al mercado de Florida, y pueden regresar a cualquier hora. Los camiones también pueden recoger los contenedores vacíos y los suministros de los vendedores en el área general. La recolección se permite sólo después de haber hecho todos los repartos de una ruta. Sobre el área de Georgia-Florida se coloca una simple cuadrícula lineal y se hallan las coordenadas para el almacén, las ubicaciones de los minoristas y las de los vendedores. Las coordenadas 0,0 están en la esquina noreste. Por ejemplo, el almacén de Atlanta está situado en $X = 2084$, $Y = 7260$. El factor de escala del mapa, incluyendo un factor de circuito de carretera, es de 0.363. El tiempo total de una ruta puede ser de 40 horas y la distancia total de la ruta puede ascender a 1,400 millas (2,250 km). Se utilizan conductores en equipo, por lo que no se requieren pausas para pasar la noche, pero sí se permite una hora de descanso a las 12 del mediodía y a las 8 de la noche de cada día. La velocidad promedio de conducción es de 45 millas por hora (70 km/h). Los siguientes son datos adicionales sobre las paradas:

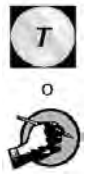
Núm.	Ubicación de la parada	Tipo de parada	Volumen (tarimas)	Coordenada Y	Coordenada X	Tiempo de carga y descarga (min)	Momento oport. Abierto	Momento oport. Cerrado
1	Tampa, FL	Entrega	20	1147	8197	15	6 A.M.	12 A.M.[a]
2	Clearwater, FL	Recolección	14	1206	8203	45	6 A.M.	12 A.M.
3	Daytona Beach, FL	Entrega	18	1052	7791	45	6 A.M.	12 A.M.
4	Fort Lauderdale, FL	Entrega	3	557	8282	45	3 A.M.	12 A.M.

5	North Miami, FL	Entrega	5	527	8341	45	6 A.M. 12 A.M.
6	Oakland Park, FL	Recolección	4	565	8273	45	3 A.M. 12 A.M.
7	Orlando, FL	Entrega	3	1031	7954	45	3 A.M. 12 A.M.
8	St Petersburg, FL	Recolección	3	1159	8224	45	3 A.M. 12 A.M.
9	Tallahassee, FL	Entrega	3	1716	7877	15	10 A.M. 12 A.M.
10	West Palm Beach, FL	Entrega	3	607	8166	45	6 A.M. 12 A.M.
11	Miami-Puerto Rico	Entrega	4	527	8351	45	6 A.M. 12 A.M.
			80				

[a] Medianoche

Hay tres camiones con una capacidad de 20 tarimas, uno con capacidad de 25 tarimas y otro con capacidad de 30 tarimas. El costo de conductores y camión es de $1.30 por milla.

Diseñe las rutas para este grupo de entregas y recolección. ¿Qué camiones tienen que asignarse a qué rutas? ¿Cuál es el plan de despachos? ¿Cuál es el costo por despacho?



9. Queens Lines opera una flota de buques-tanque para transportar petróleo crudo por todo el mundo. Un problema de la programación trata del movimiento del petróleo desde los puertos de Medio Oriente a cuatro puertos europeos en Inglaterra, Francia y Bélgica. El tiempo de navegación en días entre los puertos es de

	Puertos europeos de descarga			
Puertos del Medio Oriente	A	B	C	D
1	20	18	12	9
2	17	14	10	8

Dentro de los próximos tres meses, los repartos se tienen que hacer según el siguiente programa:

Desde el puerto de carga	1	2	1	2	1	2
En el puerto de descarga	*D*	*C*	*A*	*B*	*C*	*A*
Día	19	15	36	39	52	86

Supongamos que los barcos están disponibles para empezar en cualquier lado y que pueden terminar en cualquier puerto.

¿Cuántos barcos se necesitan para cumplir con el programa, y cómo deberían desplegarse? (*Tip*: Se requiere resolver el problema de programación lineal de transportación.)

10. Maxim Packing Company está considerando usar un programa de consolidación de flete para cubrir al mercado de Kansas. El programa incluiría los clientes de pequeño volumen localizados en Hays, Manhattan, Salina y Great Bend. La propuesta es retener todos los pedidos de estas áreas durante algunas semanas para conseguir menores cargos de transportación. Supongamos que ahora todos los pedidos se envían LTL directo desde Fort Worth, Texas, a su destino en Kansas. Los pedidos quincenales promedio desde el territorio de Kansas son como siguen:

Hays	200 cajas
Manhattan	350
Salina	325
Great Bend	125

Desde Fort Worth a	Tarifas ($/cwt.)			
	Camión AQ[a]	≥ 10,000 lb	≥ 20,000 lb	≥ 40,000 lb
Hays	12.78	5.19	4.26	3.06
Manhattan	12.78	5.19	4.26	2.22
Salina	10.26	4.08	3.42	2.46
Great Bend	12.27	4.98	4.08	2.94

[a] Cualquier cantidad menor de 10,000 libras.

Tabla 7-7 Tarifas por carretera entre Fort Worth, Texas, y los puntos de destino seleccionados en Kansas

La caja promedio pesa 40 libras. Los pedidos podrían enviarse en el periodo quincenal en el que son recibidos, retenidos y enviados, después de dos periodos de pedidos quincenales; o también podrían ser retenidos y enviados después de tres periodos de pedidos quincenales. La pérdida potencial de ventas se ha estimado en $1.05 por caja por cada periodo quincenal adicional que se retienen los pedidos. Las tasas de transporte a Kansas se dan en la tabla 7-7.

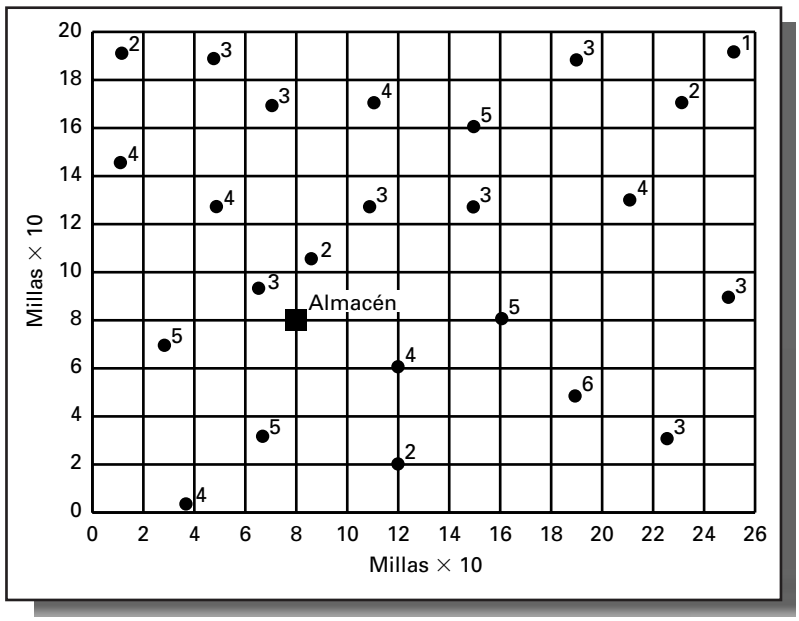
¿Debería llevarse a cabo el programa? En caso afirmativo, ¿durante cuánto tiempo deberían retenerse los pedidos antes de ser enviados?

11. Sunshine Bottling Company embotella refrescos que distribuye a tiendas minoristas desde nueve almacenes en el área de Michigan. En Flint, Michigan, se localiza una única planta de embotellamiento. El producto se envía desde la planta a los nueve almacenes en camiones de carga llenos. El típico movimiento desde la planta hacia el almacén es transportar un trailer de refrescos en tarimas, descargar el trailer, y regresar el trailer con tarimas vacías a la planta. La descarga y el amarre del trailer en el almacén tarda 15 minutos. Dado que las rutas son transitadas frecuentemente, los tiempos de viaje, de descarga y de descanso se conocen con un gran margen de certeza. El número de viajes necesarios para satisfacer la demanda y los tiempos de ruta para una semana típica son los siguientes:

Ubicación del almacén	Distancia (millas)	Viajes semanales	Tiempo de manejo (horas[a])	Tiempo de descarga (horas)	Tiempo de descanso/ comida (hr.)	Tiempo total de la ruta (horas)
Flint	20	43	1.00	0.25	0	1.25
Alpena	350	5	9.00	0.25	1.25	10.50
Saginaw	80	8	2.00	0.25	0	2.25
Lansing	118	21	3.25	0.25	0.25	3.75
Mt. Pleasant	185	12	4.50	0.25	0.75	5.50
W. Branch	210	5	5.00	0.25	0.75	6.00
Pontiac	90	43	2.50	0.25	0	2.75
Traverse City	376	6	9.00	0.25	1.25	10.50
Petoskey	428	5	10.00	0.25	1.50	11.75

[a] Tiempo de viaje de ida y vuelta

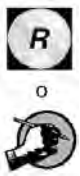
Figura 7-25
Ubicaciones de las funerarias para la Nockem Dead Casket Company con el número de ataúdes pedidos.



Es deseable programar los camiones para que salgan de la planta a las 4:00 a.m. o después, y para que regresen no más tarde de las 11:00 p.m. del mismo día. Sólo puede descargarse cuando el almacén está abierto, lo cual ocurre de 6:30 a.m. a las 11:00 p.m.

Organice las rutas para maximizar el uso de los camiones, determine el número *mínimo* de camiones que se necesitan para atender todas las rutas. La compañía estaba usando 10 camiones.

12. La Nockem Dead Casket Company suministra a las funerarias ataúdes por todo el estado de California. Las funerarias para el territorio de un almacén en particular se localizan como se muestra en el mapa de la figura 7-25.
    a. Supongamos que las ubicaciones de las funerarias (•) y el número asociado de ataúdes para cada funeraria representan un despacho sencillo diario. Si la compañía tiene seis camiones con capacidades para 20 ataúdes cada uno, desarrolle un plan de rutas usando el método "de barrido". (Utilice barrido en sentido contrario a las manecillas del reloj, comenzando en el norte.) Coloque su diseño en el mapa. ¿Cuántos camiones se usan actualmente y cuál es la distancia total de viaje para el diseño de la ruta? Puede hacer una escala de distancias en el diagrama.
    b. Evalúe el método de barrido como un buen método para la programación y el diseño de rutas por carretera.



13. Anexo a su negocio minorista, Medic Drugs prepara prescripciones para hogares alejados de ancianos, servicios ampliados de cuidado, centros de rehabilitación y hogares de retiro. Parte de este servicio es entregar el pedido de la prescripción en el lugar donde se encuentre el cliente. Para el reparto se usan camionetas que tienen una capacidad de 63 cajas. Las ubicaciones de los clientes se geocodificaron mediante una cuadrícula lineal sobrepuesta, con un factor de graduación de mapas de 4.6 por unidad de coordenada. Los datos de los clientes para un día típico de reparto se dan en la tabla 7-8. Las coordenadas 0,0 de la cuadrícula están en la esquina suroeste.

Tabla 7-8 Datos de los clientes de Medic Drug

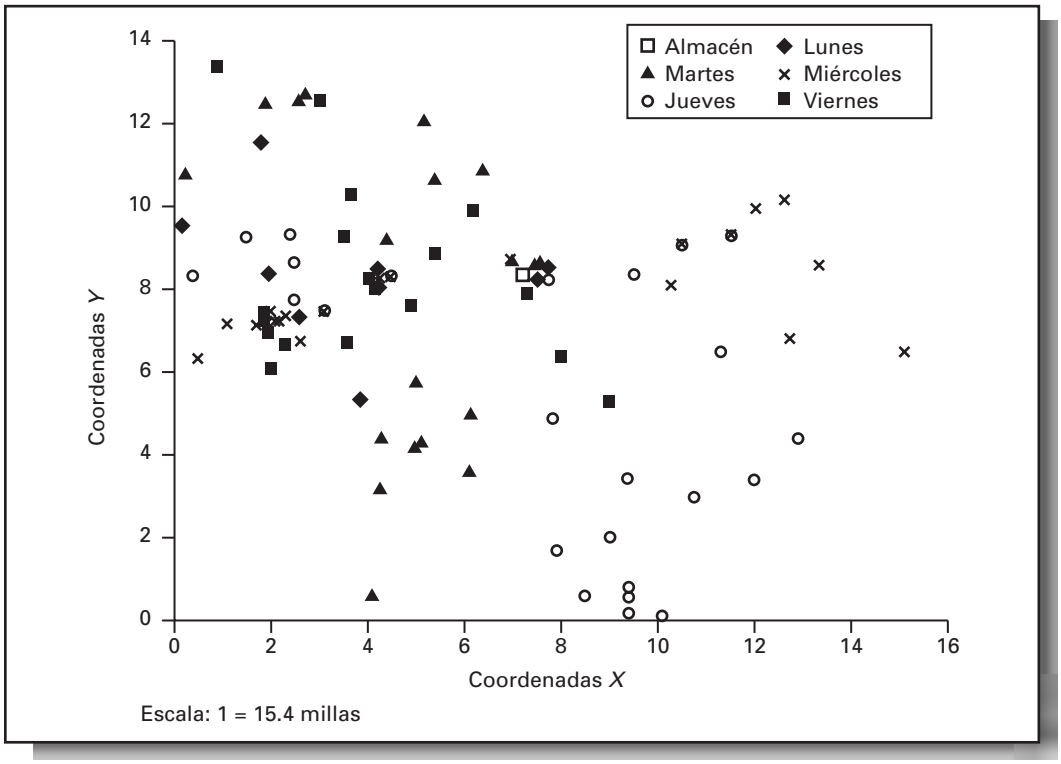
Ubicación del cliente	Tipo de parada	Volumen, (cajas)	Coordenadas X	Coordenadas Y	Tiempo de descarga (minutos)	Momento oportuno	
						Abierto	Cerrado
Covington House	D	1	23.4	12.9	2	9 A.M.	5 P.M.
Cuyahoga Falls	D	9	13.4	13.4	18	9 A.M.	5 P.M.
Elyria	D	1	6.3	16.8	5	9 A.M.	5 P.M.
Euclid Manor	D	4	11.8	18.6	4	9 A.M.	5 P.M.
Ester Marie	D	3	19.4	23.4	3	9 A.M.	5 P.M.
Fairmount	D	4	13.6	21.1	5	9 A.M.	5 P.M.
Gables	D	1	18.3	22.8	2	9 A.M.	5 P.M.
Geneva Medicare	D	4	19.5	23.5	2	9 A.M.	5 P.M.
Heather Hill	D	7	16.5	20.0	11	9 A.M.	5 P.M.
Hill Haven	D	11	13.2	12.5	17	9 A.M.	5 P.M.
Homestead Genev	D	2	19.4	23.5	2	9 A.M.	5 P.M.
Inn Conneaut	D	6	23.8	25.6	8	9 A.M.	5 P.M.
Judson Park	D	2	11.7	18.3	5	9 A.M.	5 P.M.
Amer. Lakeshore	D	6	11.9	18.7	8	9 A.M.	5 P.M.
Con Lea	D	3	13.4	23.6	2	9 A.M.	5 P.M.
Villa Care Ctr	D	2	10.8	18.2	5	9 A.M.	5 P.M.
Madison Village	D	1	18.4	22.8	2	9 A.M.	5 P.M.
Manor House	D	1	23.2	12.7	2	9 A.M.	5 P.M.
Meadow Brk Mnr	D	2	23.9	12.7	5	9 A.M.	5 P.M.
Medicare	D	1	11.8	18.5	5	9 A.M.	5 P.M.
N Manor Center	D	2	23.2	12.8	5	9 A.M.	5 P.M.
O Extended Care	D	13	5.4	19.3	8	9 A.M.	5 P.M.
Oak Park	D	5	13.0	17.0	10	9 A.M.	5 P.M.
Ohio Pythian	D	3	9.0	13.2	4	9 A.M.	5 P.M.
Park Rehab	D	6	13.0	20.0	5	9 A.M.	5 P.M.
Patrician	D	5	10.6	15.9	4	9 A.M.	5 P.M.
Perry Ridge	D	1	17.3	22.7	2	9 A.M.	5 P.M.
Pine Valley	D	6	11.4	14.8	10	9 A.M.	5 P.M.
Royal View Manor	D	7	11.1	15.9	6	9 A.M.	5 P.M.
Shady Acres	D	8	18.3	22.9	8	9 A.M.	5 P.M.
St Augustine Mr	D	5	10.5	18.5	9	9 A.M.	5 P.M.
Shagri-La	D	5	9.1	13.3	5	9 A.M.	11 A.M.
Singleton	D	1	11.7	18.7	4	9 A.M.	5 P.M.
Stewart Lodge	D	1	18.4	22.8	2	9 A.M.	5 P.M.
Town Hall	D	2	19.7	19.3	3	9 A.M.	5 P.M.
Algart	D	1	10.5	18.5	4	9 A.M.	5 P.M.
Ambassador	D	7	12.3	19.8	5	9 A.M.	5 P.M.
Ashtabula	D	5	21.3	24.4	9	9 A.M.	5 P.M.
Austin Woods	D	4	21.7	12.7	3	9 A.M.	5 P.M.
Bolton	D	1	18.3	22.9	3	9 A.M.	5 P.M.
Broadway	D	4	11.6	19.5	2	9 A.M.	5 P.M.

Cle Golden Age	D	1	11.6	18.4	5	9 A.M.	5 P.M.
Villa Santa Ann	D	3	13.2	19.4	9	9 A.M.	5 P.M.
Wadsworth	D	5	10.7	11.5	3	9 A.M.	5 P.M.
Wickliffe Cntry	D	7	13.0	20.6	8	9 A.M.	5 P.M.
Westbay Manor	D	6	8.4	18.0	10	10:30 A.M.	11:30 A.M.
Westhaven	D	2	8.5	18.1	5	9 A.M.	5 P.M.
Broadfield Mnr	D	6	18.2	22.9	2	9 A.M.	5 P.M.
Total		193					

Los repartos pueden empezar a las 8:00 a.m. (hora en que los conductores dejan el depósito) y los conductores tienen que regresar a la farmacia base a las 6:00 p.m. La velocidad promedio de conducción es de 30 millas por hora (50 km/h). Los conductores tienen permitido un descanso de una hora para comer después de las 12 del mediodía. La mayoría de los clientes reciben sus repartos entre las 9:00 a.m. y las 5:00 p.m., aunque hay unas pocas excepciones. La farmacia base se localiza en $X = 13.7$, $Y = 21.2$. Si un conductor regresa pronto a la farmacia base, la camioneta puede volver a cargarse y se envía a una segunda ruta.

a. Diseñe un plan de ruta de envío que minimice la distancia total recorrida.

Figura 7-26 Ubicaciones de demanda de cinco días para la Nockem Dead Casket Company.



b. ¿Puede asignarse alguna ruta a la misma camioneta para reducir el número total de conductores y de vehículos necesarios para el servicio a los clientes? En caso contrario, ¿hay algo que pueda hacerse para lograrlo?

14. La Nockem Dead Casket Company vende y distribuye ataúdes para funerarias en la región de Columbus, Ohio. Las funerarias hacen los pedidos a un almacén (X = 7.2, Y = 8.4) para el reparto durante la semana. Las ubicaciones de las funerarias y los días laborables de reparto se dan en la figura 7-26. El número de ataúdes y las coordenadas de las funerarias se dan en la tabla 7-9. Los repartos se hacen usando un camión de 18 ataúdes y otro de 27. Los camiones dejan el almacén para hacer los repartos y regresan el mismo día.

    Usando los *principios de una buena programación y diseño de rutas*, desarrolle un buen plan de rutas para la compañía. Sea creativo.

Tabla 7-9 Ubicaciones de las funerarias y números de ataúdes para entregar cada día de la semana

Lunes			Martes			Miércoles			Jueves			Viernes		
X	Y	Vol.	X	Y	Vol.	X	Y	Vol.	X	Y	Vol.	X	Y	Vol.
4.9	7.6	2	5.4	10.7	1	12.7	6.8	1	7.8	4.9	5	4.9	7.6	1
4.3	8.1	1	6.4	10.8	1	13.3	8.6	1	7.9	1.7	3	4.1	8.3	1
4.3	8.2	1	5.2	12.2	3	12.6	10.2	3	9.0	2.0	2	4.4	8.3	1
4.3	8.3	1	2.7	12.7	1	12.0	10.5	1	9.4	0.6	5	4.2	8.1	1
4.2	8.4	1	2.6	12.6	1	11.5	9.3	1	9.4	0.7	1	2.0	7.0	1
3.1	7.5	1	1.9	12.5	1	10.5	9.1	3	8.5	0.6	1	1.9	7.3	1
2.5	7.8	1	0.9	13.4	1	10.3	8.1	2	9.4	0.2	4	1.9	7.4	3
0.1	9.6	2	0.1	10.8	2	4.5	8.4	1	10.2	0.1	1	2.3	6.7	1
1.8	11.6	1	4.4	9.2	3	2.1	7.2	1	10.7	3.0	3	5.4	8.9	1
1.9	8.4	1	5	5.8	2	2.2	7.3	4	9.4	3.4	2	2.0	6.1	1
2.5	7.4	1	4.3	4.4	2	3.1	7.5	1	4.3	8.2	2	9.0	5.3	2
2.4	6.7	1	5.1	4.3	2	2.3	7.4	1	4.5	8.4	1	3.6	6.7	1
3.9	5.3	3	5.0	4.2	1	2.1	7.1	2	4.2	8.1	4	5.4	8.9	2
7.6	8.6	1	4.3	3.2	1	2.0	7.4	3	2.5	7.8	1	3.5	9.3	3
7.6	8.3	1	4.1	3.6	1	2.6	6.8	1	0.4	8.4	1	3.7	10.3	1
7.7	8.5	2	6.1	5.0	2	5.4	8.9	1	1.5	9.3	1	3.0	12.6	2
			7.0	8.7	2	15.1	6.5	1	2.4	9.4	2	0.9	13.3	2
			7.5	8.6	2	0.5	6.4	1	2.5	8.7	3	6.2	9.9	1
			7.4	8.6	1	1.1	7.2	2	10.5	9.1	1	7.3	7.9	1
						1.7	7.2	2	9.5	8.4	1	8.0	6.4	1
						2.0	7.5	1	11.3	6.5	1			
						7.0	8.7	1	12.9	4.4	1			
						7.5	8.6	1	12.0	3.4	1			
									7.7	8.3	1			
									11.5	9.3	1			
Total		21	*Total*		30	*Total*		36	*Total*		49	*Total*		28

ESTUDIO DE CASO

Fowler Distributing Company[†]

Roy Fowler es el propietario de Fowler Distributing Company, concesionario regional para la distribución de refrigeradores para cerveza y vinos de una gran fábrica de cervezas. Roy enfrenta un gran problema para la transportación eficiente de los productos de cerveza y vino a los clientes. Roy posee los camiones de reparto, pero los conductores de ruta sindicalizados venden al menudeo cerveza y vino directo del inventario en los camiones. Los conductores están interesados en maximizar sus ingresos al incrementar sus utilidades. Aunque Roy está contento con el esfuerzo de ventas de los conductores, también está interesado en minimizar el número de camiones necesarios para atender las cuentas así como las millas recorridas, dado que los gastos de operación de los camiones corren a cargo de la compañía, en vez de ser cargados a los ingresos de los conductores.

ANTECEDENTES

Roy Fowler, veterano del conflicto de Corea, compró dos autobuses para suministrar transportación a los residentes de su pueblo natal. Roy luchó por vivir de este negocio, donde él era tanto el conductor como el hombre de mantenimiento. Para controlar los gastos, Roy compró sólo una licencia para los dos autobuses, cambiándola entre éstos cuando uno estaba en reparación o fuera de servicio. Fue sacado del negocio cuando la ciudad estableció su propio sistema de tránsito.

La experiencia de transportación de Roy le llevó a establecer una distribuidora de cervezas para vender al menudeo cerveza desde un almacén local a diferentes minoristas de la región cercana al almacén. Cuando la fábrica de cerveza se convirtió en un productor importante, la distribuidora de Roy también prosperó. Aunque es el distribuidor más grande de su zona, controlar los costos es esencial para mantener su margen competitivo.

OPERACIONES DE REPARTO

Una ruta regular es una asignación de minoristas y otras cuentas a un conductor y a un camión en particular. Los conductores están sindicalizados y se esfuerzan por conseguir estas rutas. Ganan las rutas basados en la antigüedad, actúan como vendedores en las rutas y desarrollan más cuentas para incrementar sus ingresos. A los conductores se les paga por comisión y se sabe que ganan unos $4,000 semanales en los buenos periodos de ventas. Como es de esperar, los conductores guardan celosamente la composición y el diseño de sus rutas. Roy deberá enfrentar al sindicato cuando intente reconfigurar las rutas.

Hay otro grupo de cuentas, conocidas como cuentas de preventa, que son atendidas en rutas secundarias. Hay alguna oportunidad de optimizar el diseño de las rutas secundarias. Las cuentas de preventa colocan los pedidos de antemano, en vez de esperar a que la persona de la ruta los deje. Los pedidos de estas cuentas pueden ponerse en camiones diferentes de los de las cuentas por comisión y se les pueden asignar rutas como se desee, sin muchas reglas restrictivas del sindicato. No se paga comisión de ventas, dado que el conductor no hace labor de ventas.

UN PROBLEMA TÍPICO

En un día típico pueden hacerse las 21 cuentas de preventa, según se describe en la tabla 1 y se señalan en la figura 1. Hay 250 días de operación al año. En la tabla 1 se da el número de cajas pedidas, el tiempo esperado (en minutos) que se puede tardar en atender la cuenta y la hora del día en que puede atenderse la cuenta, en caso de que haya restricciones. La figura 1 corresponde a un mapa de la ubicación de cada

[†] Adaptado de un problema de ruta por William L. Berry.

Número de cuenta	Coordenadas X	Coordenadas Y	Cajas pedidas	Tiempo de reparto (minutos)	Momento oportuno
1	7.5	28.5	120	60	8:00 A.M.–5:00 P.M.
2	10.0	9.0	200	90	8:00 A.M.–10:30 A.M.
3	12.0	24.0	120	60	8:00 A.M.–5:00 P.M.
4	13.0	30.0	150	80	8:00 A.M.–5:00 P.M.
5	13.5	34.0	50	40	8:00 A.M.–5:00 P.M.
6	17.5	16.5	90	50	8:00 A.M.–5:00 P.M.
7	23.0	38.5	140	70	8:00 A.M.–8:30 A.M.
8	23.0	16.5	60	40	8:00 A.M.–5:00 P.M.
9	23.5	25.0	110	60	8:00 A.M.–5:00 P.M.
10	27.0	33.5	180	90	8:00 A.M.–10:45 A.M.
11	29.0	28.0	30	20	8–11 A.M. & 2–4 P.M.
12	11.0	40.0	90	50	8:00 A.M.–8:30 A.M.
13	32.0	40.0	80	50	8:00 A.M.–10:00 A.M.
14	7.5	18.0	50	30	12:30 P.M.–5:30 P.M.
15	5.0	13.5	160	90	8:00 A.M.–12:45 P.M.
16	23.0	8.0	100	60	8:00 A.M.–5:00 P.M.
17	27.0	8.0	140	60	8:00 A.M.–5:00 P.M.
18	36.0	8.0	50	30	8:00 A.M.–5:00 P.M.
19	32.0	4.0	90	50	12:00 P.M.–4:00 P.M.
20	32.5	22.0	150	70	8:00 A.M.–5:00 P.M.
21	31.5	13.0	80	40	8:00 A.M.–5:00 P.M.
		Total	2,240	1,190	
Almacén	15.0	35.0			

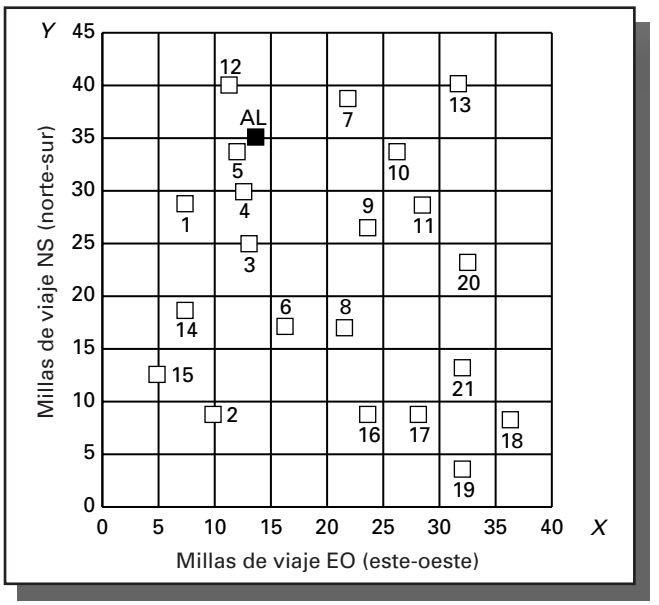
Tabla 1 Datos de las cuentas

cuenta (por número) y del almacén (*A*). El mapa está a una escala con el número aproximado de millas para viajar norte y sur o este y oeste de la cuadrícula. La red de carreteras de la zona está bien desarrollada, y no hay ríos, lagos u otras barreras por tener en cuenta. La distancia y el tiempo de conducción están directamente relacionados con una velocidad promedio de 25 millas por hora (40 km/h).

La compañía tiene actualmente cinco vehículos de reparto para manejar las cuentas de preventa y un amplio número de conductores para ellos (los trabajadores del almacén a menudo también se desempeñan como conductores de las cuentas de preventa). Cada camión tiene una capacidad de 500 cajas, un precio de $20,000 y un costo de operación de $0.90 por milla, lo cual incluye la depreciación del camión. Los camiones tienen tres años de antigüedad y una vida útil de siete años. Podrían venderse por el 10% de su precio de compra inicial al final de su vida útil. A los conductores les pagan $13 la hora, lo cual incluye 30% de beneficios adicionales.

Los camiones tienen que salir del almacén entre las 6:30 a.m. y las 8:00 a.m. para hacer los repartos. A los conductores les pagan el doble de la tarifa estándar (sin beneficios adicionales) siempre y cuando el tiempo en ruta esté por encima de las 8 horas diarias, sin incluir la pausa de la comida. Roy detesta pagar horas extra. Se asigna media hora en la ruta para comer, la cual debe tomarse entre las 11:30 a.m. y la 1:30 p.m.

Figura 1
Mapa de ubicaciones de cuentas y del almacén.



Algunas cuentas requieren que el reparto ocurra en momentos oportunos específicos. El camión no puede hacer el reparto en una parada antes de que inicie el momento oportuno y después de que cierre, pero estos requerimientos a veces no se cumplen.

Los despachos actuales de la compañía dan el siguiente diseño de ruta:

Ruta	Hora de comienzo	Secuencia de paradas
1	7:45 A.M.	12,15,1,14,5
2	7:33 A.M.	2,3,4
3	7:22 A.M.	6,16,17,8,19
4	8:00 A.M.	11,20,18,21,9
5	7:39 A.M.	7,13,10

TAREA

1. Determine el mejor número de camiones y rutas, y la secuencia de paradas en cada ruta. ¿Es favorable comparar este diseño con el actual?
2. ¿Qué le cuesta a Roy Fowler que el momento oportuno restrictivo fuera diferente de las 8:00 a.m. a las 5:00 p.m.? ¿Hay algo que se pudiera hacer para reducir este costo?
3. Si hubiera disponibles camiones más grandes, con un valor de $35,000 y una capacidad de 600 cajas, ¿deberían comprarse? Se espera que se incrementen los costos de operación en $0.05 por milla.
4. Si Roy pudiera usar un servicio de transporte externo para entregar a todas las cuentas con 50 cajas o menos, a un precio de $35.00 por cuenta, ¿debería hacerlo?
5. El sindicato está negociando un día laborable de $7\frac{1}{2}$ horas, excluyendo la hora de la comida, antes de que comiencen las horas extra. ¿Qué implicación tiene esto para el diseño y los costos de ruta?
6. A Roy le gustaría considerar una ubicación más central para el almacén en las coordenadas $X = 20$, $Y = 25$. El costo de arrendamiento para el edificio es el mismo que en la ubicación actual, pero la cuota de demanda de preventa del costo de reubicación es de $15,000. ¿Es dicho traslado económicamente atractivo para la demanda de preventa?
7. ¿Cómo vería poner en práctica un paquete computarizado de software, como el ROUTER, para el despacho de camiones sobre una base diaria? ¿Qué problemas anticiparía y cómo los manejaría?

*MetroHealth Medical Center**

MetroHealth System es una red municipal de hospitales localizada en Cleveland, Ohio, que consiste en múltiples instalaciones que suministran un conjunto de servicios de diagnóstico y tratamiento. Es el punto central del sistema hospitalario del condado de Cuyahoga. MetroHealth Medical Center (MMC) es el hospital principal de la ciudad y el más grande del lado oeste. El sistema proporciona los requerimientos de cuidados de la salud a un considerable número de pacientes, incluyendo importantes poblaciones de ancianos e indigentes.

El movimiento de los pacientes, personal y proveedores debe ser fluido entre el hospital principal de MetroHealth (769 camas), las instalaciones de larga estancia (172 camas), Cuyahoga County Women and Infant Care (WIC), Maternity and Infant Care (M&I), Clement Center y clínicas ambulatorias distantes.

El centro médico tiene el objetivo establecido de "responder a las necesidades de la comunidad, mejorar el estado de salud de la región, y controlar los costos de cuidado de la salud". MetroHealth Transportation/Logisctics Services apoya este objetivo con una misión "para incrementar el acceso a los cuidados de la salud en la región al proveer viajes seguros, puntuales y confiables para los pacientes pertenecientes al sistema, así como para suministrar apoyo a todos los clientes y al personal, conjuntamente con el transporte de personal, suministros y materiales por todo el MetroHealth System". Para el paciente, esto significa que se debe proporcionar un alto nivel de servicio al cliente, en el cual hay que recoger y regresar a los pacientes a sus orígenes con un mínimo de tiempo de espera, y hacer esto de la manera más eficiente posible en función de los costos.

El enfoque de este caso de estudio está en el movimiento de pacientes hacia el hospital principal y desde éste, y no en el movimiento del personal y los materiales. Los pacientes involucrados no tienen acceso a transporte por sí mismos. Dado que los gastos asociados con su diagnóstico y tratamiento normalmente y desde pagados por terceros (por ejemplo, Medicare o seguros privados), el hospital puede recuperar los costos de dichos servicios y no cargar a los pacientes la transportación. Aunque dichos servicios podrían suministrarse normalmente por razones caritativas, el incremento de la competencia entre los hospitales por los pacientes ha llevado a la institución a usar servicios de transportación y logísticos como un arma estratégica en su búsqueda por cubrir todos sus gastos. Los beneficios de casi $230 por visita de paciente se generan considerando que los gastos de los pacientes son el 90% de los beneficios, incluyendo la transportación. Transportar a los pacientes parece ser un buen negocio para el hospital.

OPERACIONES DE TRANSPORTE

El servicio de transportación de MMC se ofrece a todos los pacientes actuales y posibles que no pueden conseguir su propio transporte hacia el complejo hospitalario y quieren usar los servicios de MMC. Un paciente llama al Departamento de Servicio de Transporte dos o más días antes de su cita programada. Después de verificar el estado del paciente, la hora de la cita y su ubicación, se introduce la información en la base de datos de la computadora. Se prepara una lista de citas diariamente, indicando la ubicación y la hora programada de la cita. Se espera que los pacientes estén listos para recogerlos dos horas antes de su hora programada de la cita. Dada la lista de citas diarias, los conductores dividen la lista entre las zonas de recepción del este y del oeste y determinan las rutas que cumplirán mejor las horas de las citas. La figura 1 es un diagrama de flujo de información que produce la lista diaria de citas.

Durante todo el día, mientras los pacientes acaban sus visitas, se trasladan a un área de espera o estacionamiento. Luego, los pacientes son recogidos para llevarlos de regreso a casa. Un tiempo de espera de no más de 45 minutos se considera un buen servicio al cliente. Los pa-

* Este caso fue preparado con ayuda de Dominic Rinaldi, Gerente, Transportation/Logistics' Services, MetroHealth Medical Center y Hena Montesinos-Bar, Weatherhead School of Management, Case Western Reserve University.

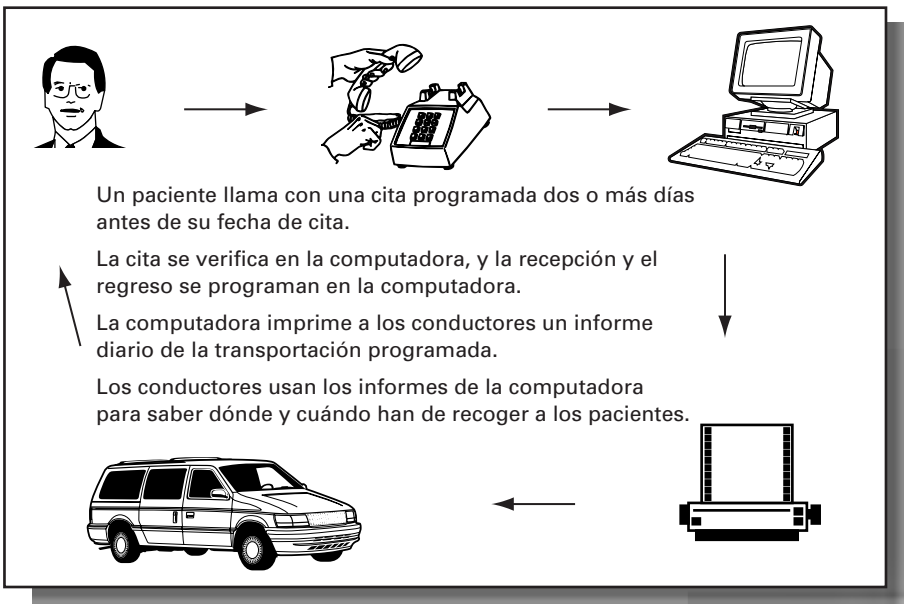


Figura 1 Flujo de información para el servicio de transportación de pacientes.

cientes que regresan lo hacen en el mismo vehículo que fue despachado para recogerlos. La recepción y los regresos se efectúan simultáneamente en la misma ruta. Los vehículos circulan entre las zonas de recepción de pacientes y el MetroHealth Medical Center varias veces al día.

El territorio de servicio se divide entre el lado este y el oeste de la ciudad, según códigos postales (véase figura 2). Transportation Services usa sus propios vehículos para atender a los pacientes cercanos. Por lo general se asignan dos vehículos con capacidades para 15 pasajeros a un área de la ciudad. También está disponible otra camioneta de seis pasajeros, lo que representa una capacidad adicional para cubrir la sobrecarga del programa o para cubrir las fallas del equipo. Se emplea un equipo formado por un gerente, siete conductores y un oficinista, responsables de la transportación de personal y materiales, así como de la transportación de pacientes. Transportation Services maneja la transportación para todos los códigos postales dentro del condado, pero suministra servicio con sus propios vehículos sólo dentro de los códigos postales cercanos, que son las zonas sombreadas en la figura 2. Los otros códigos postales, dentro del condado, son encargados a terceros proveedores de transporte. Aquellos códigos postales que representan ubicaciones distantes o áreas con baja densidad de pacientes, históricamente han sido manejados con taxis mediante comprobantes verificados. Más recientemente, este tipo de transportación de pacientes se suministra bajo contrato por las ambulancias del hospital. Un servicio de ambulancias, como Physicians Ambulance Service, pide el lucrativo negocio de ambulancias. Para ganar el contrato, también puede ofrecer transportación de pacientes con condiciones limitadas. El costo directo de este servicio añadido es, a menudo, menor que los costos de transporte de MMC; sin embargo, no toda la transportación de pacientes puede ser subrogada a unas tarifas tan bajas, sin forzar a una renegociación del contrato de ambulancias, con tarifas que puedan estar ubicadas entre los costos de MMC y los costos de los taxis.

PROGRAMAS TÍPICOS DIARIOS

En la tabla 1 se muestran los requerimientos diarios de transportación para un día represen-

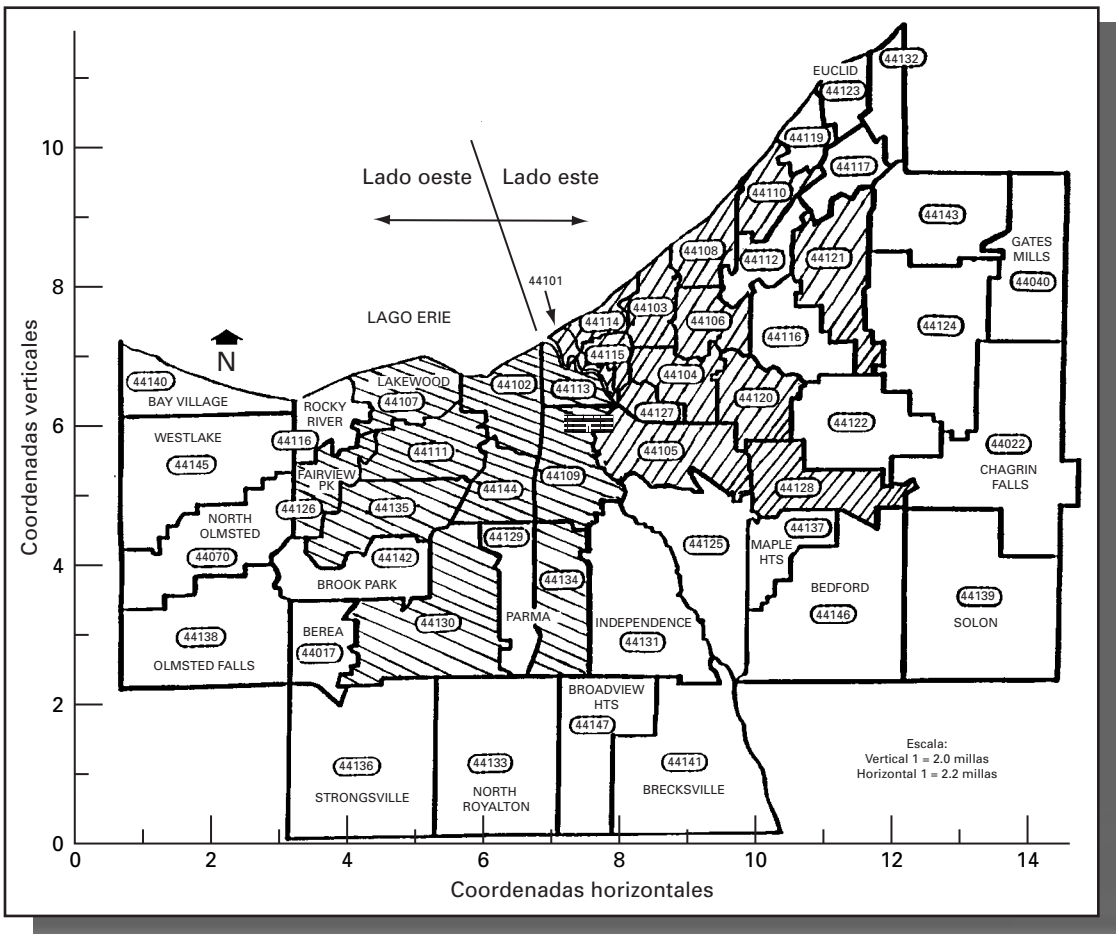


Figura 2 Áreas de recepción de pacientes de los lados este y oeste para la transportación dirigida por MMC.

tativo. Este periodo diario es considerado típico de la demanda del servicio de transportación durante todo el año. El servicio de transportación se ofrece 52 semanas al año con un promedio de 64 pacientes al día. La lista de citas está disponible al principio del día de trabajo; sin embargo, durante el día ocurren ajustes en la lista en forma de cancelaciones, solicitudes para recepción o cambios en los horarios de las citas. Tales sucesos, por lo regular representan sólo dos o tres casos en una lista de 60 pacientes. Algunos simplemente no salen cuando llega la camioneta. No todos los pacientes necesitan el viaje de regreso, dado que algunos pueden haber hecho otros arreglos de transportación. Sólo unos cuantos pacientes conocen las horas de llegada y salida en el MMC. La figura 3 muestra la distribución de recepción y entrega de una semana típica.

Un reporte para noviembre muestra el número de pacientes recibidos por área de código postal. Muchos códigos postales dentro del condado tienen sólo unos pocos pacientes que siempre usarán los servicios de transporte del MMC. La tabla 2 da el número de pacientes que se originan desde diversos códigos postales.

Tabla 1 Lista de citas de pacientes de los servicios de transporte de MMC representativa para un día

Número	Hora de la cita[a]	Nombre del paciente	Código postal de recepción[b]	Hora de llegada[c]	Hora de salida[d]
1	8:30 A.M.	Baker, Horace	44104E	—	—
2	8:30	Boyd, Jessie	44104E	—	9:50 A.M.
3	9:00	Carver, William	44128E	8:40 A.M.	
4	9:00	Ivey, Edna	44120E		12:09 P.M.
5	9:00	Rashed, Kareemah	44110E	7:40 A.M.	
6	9:00	Walsh, John	44126E	8:40	10:12 A.M.
7	9:30	Johnson, Fannie	44104E	8:40	1:25 P.M.
8	9:45	Burgess, David	44106E	8:57	
9	9:45	Delgado, Genoveva	44103E		
10	10:00	Fairrow, Annie	44106E	8:57	12:09
11	10:00	Middlebrooks, Sharon	44105E	9:40	
12	10:00	Suech, John	44107E		
13	10:30	Lawson, Linnette	44104E	9:40	12:09
14	10:30	Reed, William	44106E	10:10	11:00 A.M.
15	10:45	Bongiovanni, Anita	44105E	2:04	
16	11:00	Miller, Dawn	44105E	9:40	11:00 A.M.
17	11:30	Talley, Levannah	44120E		
18	11:45	Williams, Irelia	44115E	10:10	
19	12:30	Dumas, Tyere	44105E	10:50 A.M.	2:10 P.M.
20	12:45	Taylor, Frances	44120E		
21	1:00	Barker, Mary	44105E		
22	1:00	Lhota, Angelina	44127E	12:15 A.M.	
23	1:00	Manco, Alessandro	44110E		
24	1:00	Webb, Kimberly	44106E		
25	1:00	Wilson, Daryl	44105E	12:15 A.M.	2:10 P.M.
26	2:00	Arrington, Catherine	44120E		
27	2:00	Staunton, Gerald	44104E		
28	2:00	Wall, John	44105E		
29	2:00	Williams, Alberta	44103E		2:54
30	8:15	Caruso, Betty	44109W		
31	8:30	West, James	44102W		
32	9:00	Amaro, Antonia	44102W		2:15
33	9:00	Brown, Frances	44109W		
34	9:00	Ciesicki, Sophie	44129W		
35	9:00	Pinkevich, Galina	44109W		
36	9:00	Staufer, Kenneth	44102W		
37	9:00	Winterich, Susan	44109W		
38	9:15	Brown, Betsy	44135W		
39	9:30	Ball, Ruth	44102W		
40	9:30	Lanza, Santa	44102W		

Tabla 1 (*cont.*)

Número	Hora de la cita[a]	Nombre del paciente	Código postal de recepción[b]	Hora de llegada[c]	Hora de salida[d]
41	9:30	Mayernik, Elaine	44113W		
42	9:45	Toyal, Todd	44107W		
43	10:00	Heffner, Betty	44135W		
44	10:00	Jarrell, Barbara	44107W		
45	10:00	Piatak, Robert	44134W		
46	10:00	Swaysland, Louise	44102W		
47	11:00	Baer, Barbara	44135W		
48	11:00	Wills, Elizabeth	44107W		
49	1:00	Fauber, Ann	44107W		
50	1:00	Mullins, Cheryl	44113W		
51	1:00	Pack, Mary	44144W		
52	1:15	Westerfield, Joann	44102W		2:15 P.M.
53	1:30	Lisiewski, Stella	44111W		2:15 P.M.
54	2:00	McPherson, Gary	44107W		
55	2:30	Mykytuk, Theresa	44102W		
56	3:00	Gutschmidt, Glenda	44102W		

[a] Hora de llegada al MMC en la cita médica
[b] E y O se refieren a las zonas de recepción del este y del oeste
[c] Hora de llegada real al MMC
[d] Hora de salida desde el MMC para el viaje de regreso

Figura 3 Distribuciones de horarios de cita y regreso.

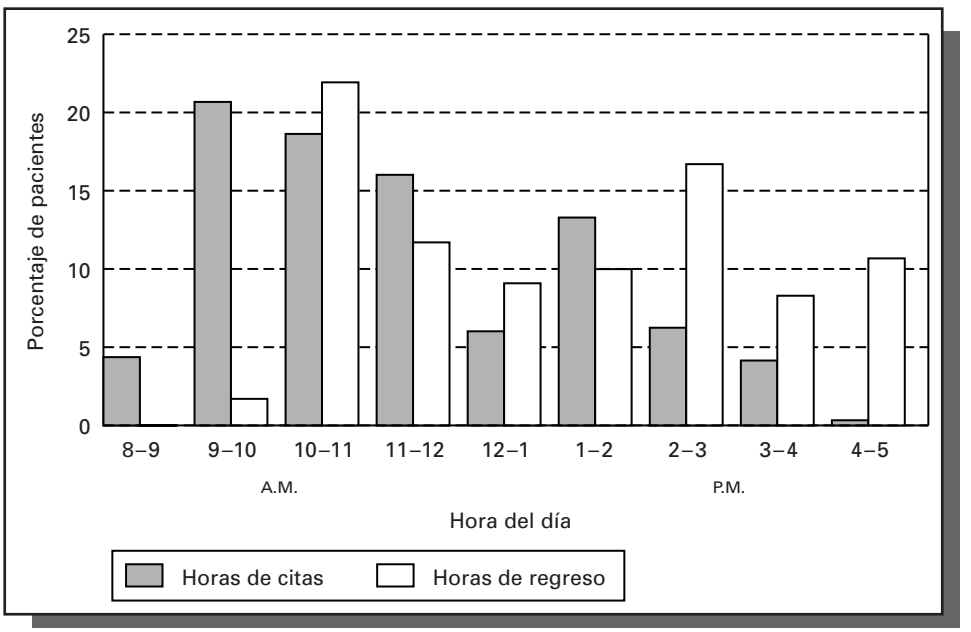


Tabla 2 Número de pacientes que usan los servicios de transporte del MMC, según códigos postales

Código postal	Número de pacientes
44101	1
44102	154
44103	57
44104	73
44105	141
44106	70
44107	77
44108	42
44109	175
44110	56
44111	52
44112	1
44113	69
44114	7
44115	7
44120	51
44121	6
44126	19
44127	7
44128	29
44129	12
44130	4
44134	28
44135	115
44139	1
44142	1
44144	15
Total	1270

COSTOS DE CONDUCTORES Y VEHÍCULOS

La flota de vehículos del MMC que está dedicada a la transportación de los pacientes consta, actualmente, de dos grandes camionetas capaces de transportar a 15 pasajeros y una pequeña camioneta que puede transportar seis pasajeros. La camioneta grande tiene un precio de compra de $23,000 y la pequeña de $19,000. Las camionetas tienen una vida útil de casi cuatro años y acumulan, aproximadamente, 30,000 millas por año. El promedio de los costos de reparaciones es de $1,000 anuales, basados en las 30,000 millas conducidas por año, y no hay un valor importante de recuperación al final de su vida útil. El consejo de directores del MMC espera al menos una tasa de 8% de recuperación anual de estos vehículos, aunque el gerente de logística considera que 18 a 20% es más realista.

Los conductores encargados de la transportación de los pacientes son escogidos de un grupo de siete conductores disponibles. El salario de un conductor es de $23,500 anuales, incluyendo los beneficios.

Transportation Services opera todos los días, excepto fines de semana y vacaciones. Esto representa unos 20 días al mes, o 240 días al año. Se ha estimado que Transportation Services incurre en un costo de $8 por viaje de paciente, o $16 por viaje de ida y vuelta. En contraste, subcontratar el servicio de transportación a proveedores externos sería una forma alternativa de suministrar el servicio al paciente. Los taxis se han usado a un costo promedio de casi $11 por transporte. Históricamente, se ha incurrido en una facturación de taxis de aproximadamente $10,000 al mes. Más recientemente, una compañía de servicios de ambulancias ganó un contrato con MMC para transportar pacientes por un costo de incremento bajo de $4.33 por transporte en un solo sentido. Dado que el servicio se suministra como un anexo al contrato de los servicios de ambulancia, aplica un límite de 500 viajes de ida y vuelta por mes. Si toda la transportación fuera a ser subcontratada al servicio de ambulancias, se podría esperar que la tasa se pudiera incrementar, para estar en línea con la de los taxis.

Según investigaciones realizadas en la operación de transporte, se halló que el tiempo promedio de carga en cada parada era de seis minutos. La velocidad de conducción era de 25 millas (40 km) por hora en el lado este de la ciudad y de 30 millas (50 km) por hora en el lado oeste. Manejando en la ciudad, el promedio para camionetas grandes y pequeñas es de 13 millas por galón de combustible. El costo promedio de combustible es de $1 por galón.

SERVICIO AL CLIENTE

Suministrar a los pacientes un alto nivel de servicio de transporte es un objetivo del MMC. Pa-

ra acoger favorablemente al MMC en sus servicios médicos, los pacientes quieren un transporte rápido y cortés. Prefieren ser recogidos a una hora cercana a su cita y tener un pronto viaje de regreso después. Los médicos se quejan cuando los pacientes no están disponibles para sus citas programadas a causa de retrasos. La administración del MMC está consciente de que los beneficios generados por los pacientes que eligen el MMC a causa de su servicio de transporte son bastante altos. Por estas razones, el servicio al cliente debería ser una alta prioridad. ■

PREGUNTAS

1. ¿Qué camionetas de la flota actual deberían usarse? ¿Hasta qué punto debería usarse subcontratación?
2. ¿Cuántos viajes subcontratados debería negociar el MMC y a qué precio?
3. El MMC está considerando usar sólo camionetas de seis pasajeros. ¿Sería esta una buena decisión?

Orion Foods, Inc.

Anita Bailey es la recién designada gerente de tráfico para Orion Foods, un empacador de gran variedad de frutas y verduras que se venden por todo Estados Unidos. El primer proyecto que le dio su jefe, el director de operaciones, fue "ordenar el desastre de distribución del Oeste". Comparado con la distribución del producto en otras partes del país, el costo de distribuir el producto en las áreas de la Costa Oeste se considera excesivamente alto. "Seguro, los costos pueden reducirse", pensó ella.

DISTRIBUCIÓN ACTUAL

Orion empaca por todo Estados Unidos su línea de frutas y verduras, e incluso importa algunos productos de su línea desde regiones como América del Sur y Canadá. En el oeste de Estados Unidos (como se muestra en la figura 1), Orion ha establecido centros de distribución regional en Fresno, California, y Burns, Oregon. Desde estos almacenes centrales se suministra a los almacenes de campo, o locales, los cuales a continuación envían a sus áreas minoristas inmediatas. Hay siete de estos almacenes de campo, localizados en: 1) Los Ángeles, California; 2) Phoenix, Arizona; 3) Salt Lake City, UTA; 4) San Francisco, California; 5) Portland, Oregon; 6) Butte, Montana, y 7) Seattle, Washington. Actualmente, el centro de distribución regional de Burns sirve a los almacenes de campo de Portland, Seattle y Butte. El centro de distribución de Fresno suministra al resto de almacenes de campo. Las capacidades para los centros de distribución regional son de 50,000 cwt[1] de inventario para Fresno y 15,000 cwt de inventario para Burns. Cada uno tienen un coeficiente de rotación de inventario[2] de ocho. Los almacenes de campo tienen volúmenes de rendimiento promedio anuales según se informa en la tabla 1. En el apéndice A aparecen datos de ubicación adicionales.

Orion contrata a compañías de camiones para mover sus productos entre los almacenes regionales y de campo. Su contrato dice que pagará a sus transportistas $1.30 por milla para cantidades de camión de carga que promedien 30,000 libras (13.5 tons), el tamaño típico de envío. Anita entiende que su predecesor había dejado la opción de las rutas específicas para viajar a los transportistas individuales, asumiendo que estaban en mejor posición para determinar cuáles eran las mejores, incluso sabiendo que Orion tenía la opción de especificar las carrete-

[1] Cwt. equivale a unas 100 libras (45.36 kg).
[2] La proporción de almacenamiento anual produce el inventario promedio.

Figura 1 Red de carreteras del área de distribución de la Costa Oeste de Orion, con distancias aproximadas en millas.

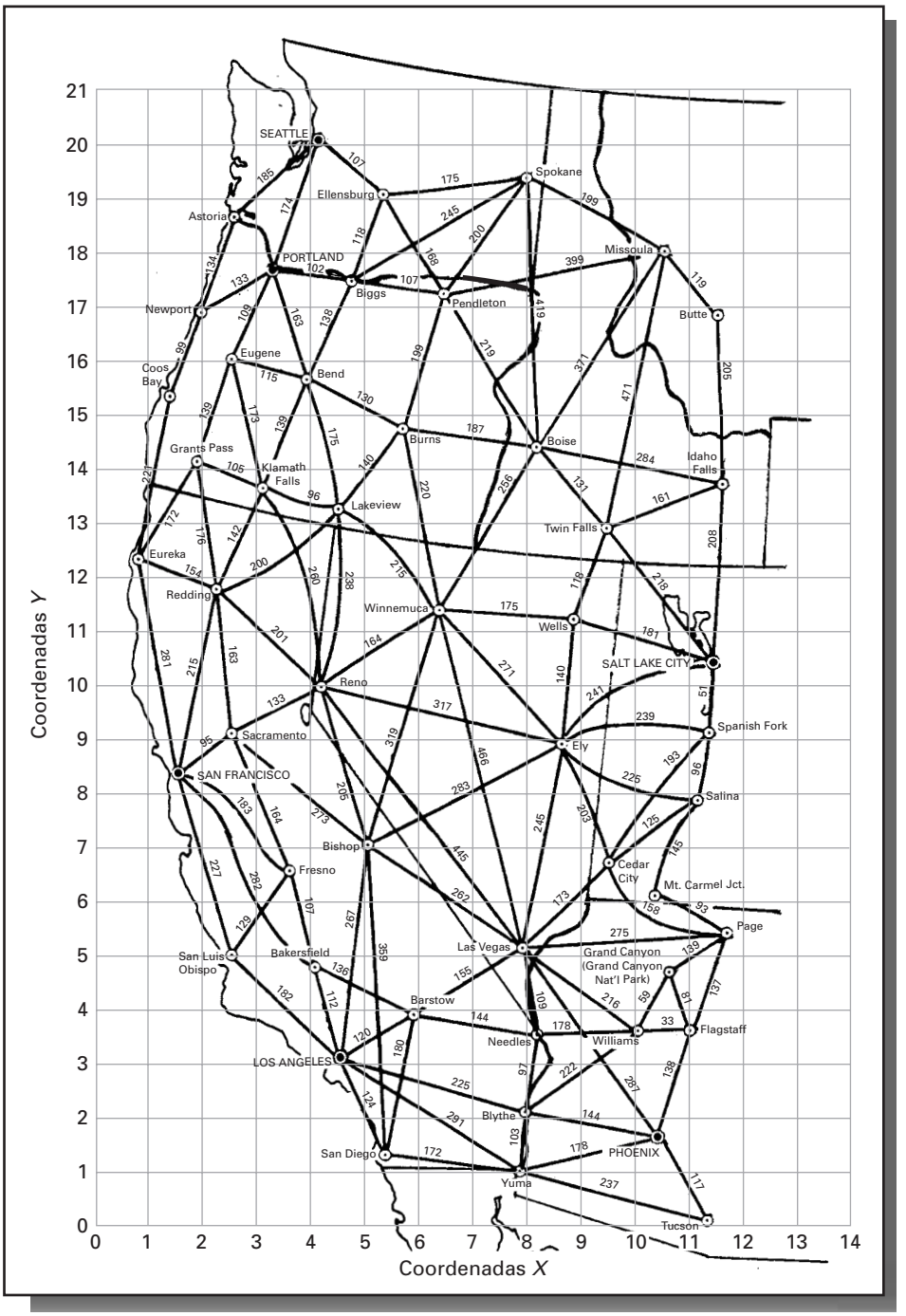


Tabla 1
Volúmenes promedio del año en curso para los almacenes de campo, con costos de transporte

Almacén de campo	Atendido desde	Volumen anual, cwt	Costos de transportación anual, $
Los Ángeles, CA	Fresno, CA	110,000	104,485
Phoenix, AZ	Fresno, CA	60,000	163,280
Salt Lake City, UT	Fresno, CA	35,000	131,871
San Francisco, CA	Fresno, CA	84,000	66,612
Portland, OR	Burns, OR	43,000	54,470
Butte, MT	Burns, OR	5,000	15,846
Seattle, WA	Burns, OR	56,000	115,710
Totales		393,000	652,274

ras a usar. Ella no conoce las rutas que están usando actualmente los transportistas.

El almacén regional de Burns está operando, actualmente, cerca de su límite de capacidad. Si se ampliara, se podría adquirir un espacio adicional en incrementos mínimos de 10,000 cwt de inventario, a un costo de $300,000 por incremento.

Anita había visto las proyecciones de crecimiento para la región y estaba sorprendida de los incrementos esperados. El departamento de marketing había desarrollado proyecciones de ventas para los próximos cinco años, como se muestra en la tabla 2. También había oído que la alta administración ha estado considerando la posibilidad de consolidar los almacenes de Fresno y Burns en un único almacén localizado en Reno, NV. Aunque esto tendría un costo neto de reubicación de $2'000,000[3], el inventario total podría reducirse 40% mediante esta consolidación. Los costos de manejo de inventario se estima que sean de 35% anual, antes de impuestos, y los costos estándar para cada 100 libras de mezcla de producto promedio de $60. ■

PREGUNTAS

1. ¿Puede Anita mejorar las operaciones actuales de distribución?
2. ¿Hay algún beneficio al ampliar el almacén de Burns, OR?
3. ¿Hay algún mérito en consolidar la operación regional de almacenaje en Reno, NV?

Tabla 2
Proyecciones a cinco años de los volúmenes del almacén

Almacén de campo	Volumen anual, cwt
Los Ángeles, CA	132,000
Phoenix, AZ	84,000
Salt Lake City, UT	56,000
San Francisco, CA	105,000
Portland, OR	57,000
Butte, MT	15,000
Seattle, WA	79,000
Total	528,000

[3] El costo de construcción y equipo del almacén de Reno, y la venta de los almacenes de Fresno y Burns.

Apéndice A Orion Foods

Datos de identificación de nodos

Núm. sec.	Núm. nodo	Nombre del nodo	Coordenadas X	Coordenadas Y
1	1	Seattle WA	4.00	20.10
2	2	Ellenberg WA	5.40	19.00
3	3	Spokane WA	8.00	19.40
4	4	Astoria OR	2.60	18.70
5	5	Portland OR	3.30	17.70
6	6	Biggs OR	4.80	17.40
7	7	Pendleton OR	6.50	17.20
8	8	Missoula MT	10.50	18.00
9	9	Newport OR	2.00	16.90
10	10	Butte MT	11.60	16.80
11	11	Eugene OR	2.50	16.00
12	12	Bend OR	3.90	15.70
13	13	Coos Bay OR	1.40	15.30
14	14	Burns OR	5.70	14.70
15	15	Boise ID	8.20	14.30
16	16	Idaho Falls ID	11.70	13.70
17	17	Grants Pass OR	1.90	14.10
18	18	Klamath Fls OR	3.10	13.60
19	19	Lakeview OR	4.50	13.20
20	20	Twin Falls ID	9.50	12.90
21	21	Eureka CA	0.80	12.20
22	22	Redding CA	2.20	11.80
23	23	Winnemucca NV	6.40	11.30
24	24	Wells NV	8.90	11.20
25	25	S Lake City UT	11.50	10.40
26	26	Reno NV	4.20	9.90
27	27	Sacramento CA	2.50	9.10
28	28	Spanish Fork UT	11.40	9.10
29	29	Ely NV	8.70	8.90
30	30	S Francisco CA	1.60	8.30
31	31	Salina UT	11.10	7.90
32	32	Bishop CA	5.10	7.10
33	33	Cedar City UT	9.60	6.70
34	34	Fresno CA	3.70	6.60
35	35	Mt Carmel J. UT	10.30	6.10
36	36	S. L. Obispo CA	2.50	5.00
37	37	Bakersfield CA	4.10	4.80

Datos de identificación de nodos *(cont.)*

Núm. sec.	Núm. nodo	Nombre del nodo	Coordenadas X	Coordenadas Y
38	38	Las Vegas NV	7.90	5.10
39	39	Page AZ	11.70	5.40
40	40	Grd Canyon AZ	10.70	4.70
41	41	Barstow CA	5.90	3.90
42	42	Flagstaff AZ	11.00	3.60
43	43	Williams AZ	10.00	3.50
44	44	Needles CA	8.20	3.50
45	45	Los Ángeles CA	4.50	3.10
46	46	Blythe CA	8.00	2.10
47	47	San Diego CA	5.30	1.30
48	48	Yuma CA	7.80	1.00
49	49	Phoenix AZ	10.40	1.60
50	50	Tucson AZ	11.30	0.10

R&T Wholesalers

R&T Wholesalers distribuye mercancía general a minoristas de toda la India. Hay numerosos almacenes localizados por todo el país que sirven como puntos de venta y depósitos para los vehículos de reparto que sirven a los minoristas en las ciudades que rodean los almacenes. El almacén que atiende a los distritos de Prakasam, Guntur, Krishna, West Godavari y East Godavari se localiza en Vijayawada. Los camiones hacen repartos cada día de la semana, excepto sábados y domingos (24 días al mes) y cada pueblo se visita dos o cuatro veces al mes, es decir, semanal o quincenalmente. Hay flexibilidad para que una ciudad sea visitada dos veces al mes, en un ciclo que comprende las semanas 1 y 3, o bien las semanas 2 y 4. El día de la semana para repartir a una ciudad lo fija el despachador. De manera similar, una ciudad puede asignarse para reparto en cualquiera de los cinco días de la semana. El gerente de logística desea crear rutas eficientes para la flota de camiones de la compañía que minimicen tanto el número de camiones necesarios para todo el ciclo de planeación del mes, como la distancia total recorrida por la flota. Siente que minimizará el costo de los conductores y de la operación de los camiones.

El volumen de reparto se representa en términos de actividad promedio de ventas por visita a la ciudad, lo cual agrupa las paradas en un número de minoristas dentro de cada ciudad. A partir de un mapa de la región de los almacenes (véase figura 1) se construyen las coordenadas lineales para el almacén y para cada ciudad. Las coordenadas tienen un factor de escala en el mapa de 1 unidad de coordenada = 12.2 kilómetros. El factor de circuito, que convierte las distancias coordenadas por computadora en distancias de carretera, es 1.12. Los datos de las ubicaciones así como los tiempos de parada para descarga se resumen en la tabla 1. Los tiempos de descarga se refieren a las horas que se necesitan para descargar la mercancía del camión al muelle del minorista. Dado que puede haber más de un minorista en una ciudad, los tiempos de descarga representan el total del tiempo de descarga de *todos* los minoristas de esa ciudad.

Actualmente hay cuatro camiones T407 para reparto, cada uno con capacidad de Rs 500,000 y cuatro camiones T310 de Rs 350,000. La capacidad se expresa en términos de ventas en rupias (Rs). Los camiones operan sobre la región a una velocidad promedio de 40 km/h durante todo el día, cada día de la semana. Los T407 tienen un costo de operación de Rs 13,500

Figura 1 Territorio de reparto del almacén Vijayawada (mapa no a escala).

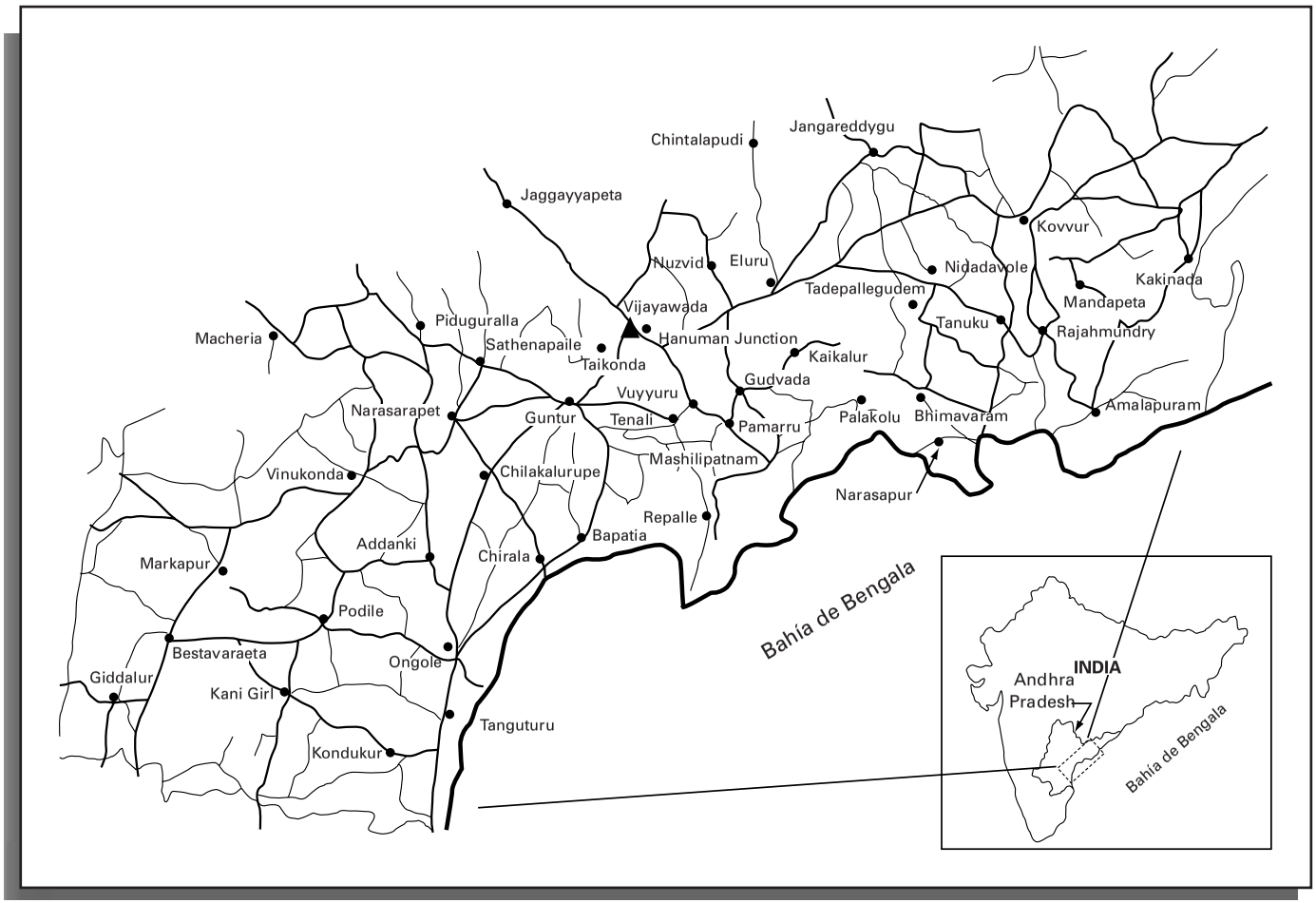


Tabla 1 Coordenadas de actividad y puntos de venta para la región del almacén de Vijayawada

Núm.	Ciudad	Coordenadas X	Coordenadas Y	Ventas por visita (rupias)	Visitas por mes	Horas por visita al pueblo
0	Vijayawada	19.4	15.1	Almacén	—	—
1	Tanguturu	14.5	5.3	66,000	2	1.0
2	Podili	10.7	7.0	24,000	2	0.5
3	Ongole	14.5	6.2	305,000	4	2.5
4	Markapur	7.7	8.2	60,000	2	0.5
5	Kani Giri	9.6	5.1	24,000	2	2.5
6	Kondukur	13.2	3.5	90,000	2	1.0
7	Giddalur	3.8	5.0	25,000	2	1.0
8	Chirala	17.2	9.0	98,000	4	2.0
9	Bestavaipetta	6.3	6.3	25,000	2	0.5
10	Addanki	13.9	8.8	60,000	2	0.5
11	Chilakalurupet	15.4	11.4	92,000	2	1.0
12	Narasaraopet	14.5	12.5	100,000	4	1.0
13	Vinukonda	11.8	11.0	65,000	2	1.0
14	Tadikonda	18.1	14.3	60,000	2	1.0
15	Sattenapalle	15.2	14.0	45,000	2	1.0
16	Repalie	21.3	10.6	50,000	2	1.0
17	Guntur	18.0	13.0	450,000	4	3.0
18	Vuyyuru	21.3	13.6	39,000	4	1.0
19	Tenali	19.7	12.5	140,000	4	1.0
20	Pamarru	22.3	13.2	62,000	2	1.0
21	Nuzvid	21.3	17.5	37,000	2	0.5
22	Machilipatnam	23.8	12.0	108,000	4	1.0
23	Kaikalur	24.4	15.5	48,000	2	1.0
24	Jaggayyapeta	14.9	18.5	37,000	2	0.5
25	Hanuman Junction	19.5	15.2	50,000	2	1.0
26	Gudivada	22.7	14.3	180,000	2	1.0
27	Bapatia	18.2	9.7	82,000	2	1.0
28	Rajahmundry	29.5	19.6	470,000	4	3.5
29	Mandapeta	30.8	18.3	170,000	2	2.0
30	Narasapur	28.7	14.5	160,000	2	1.0
31	Amaiapuram	31.5	15.6	90,000	2	1.0
32	Kakinada	33.5	19.1	228,000	4	2.0
33	Kovvur	29.0	19.7	45,000	2	1.0
34	Tanuku	28.8	17.4	134,000	2	1.0
35	Nidadvole	28.5	18.7	50,000	2	1.0
36	Tadepallegudem	27.2	17.9	130,000	4	1.5
37	Eluru	23.6	17.0	198,000	4	2.0
38	Palakolu	25.9	15.7	180,000	4	1.0
39	Bhimavaram	27.3	15.3	148,000	4	1.5

40	Jangareddygudem	25.2	20.6	68,000	2	0.5
41	Chintalapudi	22.5	20.0	68,000	2	0.5
42	Macheria	9.1	14.7	150,000	2	2.0
43	Piduguralia	13.2	14.8	30,000	2	1.0

al mes, con costos de corrida de Rs 5 por kilómetro, y los T310 tiene un costo de operación de Rs 7,000, con un costo de corrida de Rs 3 por kilómetro. Cada camión cuenta con un conductor y un ayudante. Al conductor le pagan al mes Rs 2,200 y al ayudante Rs 1,400. El equipo se contrata en incrementos de mes completo. Mientras están en la carretera, a cada miembro del equipo se le paga Rs 60 de viáticos por día para comidas y otros gastos. Las pausas planeadas para los miembros del equipo son, aproximadamente, a las 6 a.m., 12 del mediodía y 6 p.m. Las paradas para desayunar y comer son de 30 minutos cada una, en tanto que la parada de la cena es de 60 minutos. Las pausas no tienen que hacerse necesariamente a esas horas. Las pausas informales se pueden tomar durante el día y están calculadas dentro de la velocidad de conducción y de los tiempos de descarga. A los miembros del equipo se les permite, al menos, una pausa nocturna de ocho horas antes de comenzar una ruta al día siguiente. No se les paga horas extra y la política de la compañía es que los equipos regresen al almacén cada día, en vez de planear paradas temporales nocturnas.

La operación normal es que los camiones hagan repartos dentro de los pueblos de 9:00 a.m. a 6:00 p.m. Los camiones vuelven al depósito desde una ruta cargan durante la noche y salen a la mañana siguiente en otra ruta. El tiempo de inicio más temprano para los camiones es a las 12:00 a.m. en la mañana del lunes y cada día subsiguiente hasta el viernes. A veces puede ser necesario comenzar antes para llegar a pueblos lejanos y cumplir las restricciones de momento oportuno, tiempo de ruta, etc. Los camiones que regresan al depósito dentro del mismo día, debido a la brevedad de la ruta, pueden enviarse a otra ruta con el mismo equipo después de cumplir dos horas de recarga. No se pagan dobles jornadas cuando se completan múltiples rutas con los mismos equipos.

La compañía puede contratar los repartos a un tercer transportista a una tasa estimada de Rs 15 por kilómetro de un solo sentido a cada ciudad. Esta tarifa se aplica como si se hicieran repartos sencillos, sin importar el tamaño del envío o el número de paradas manejadas actualmente en un reparto concreto. Es posible una mezcla de repartos por contrato y privados.

Las distancias reales de conducción entre todos los pueblos se dan en la tabla 2. La distancia se supone la misma sin considerar la dirección recorrida en las carreteras. ■

PREGUNTAS

Diseñe la ruta para un mes típico de operaciones mostrando

1. El número de camiones necesarios y su tipo
2. Las rutas de los camiones con secuencia de paradas
3. Los días de un mes de cuatro semanas en los que tiene que visitarse un pueblo
4. El programa de uso de los camiones para todo el mes
5. El programa para usar los equipos.

El objetivo es minimizar los costos totales mensuales para los camiones, los equipos y otros pagos.

Tabla 2 Distancias aproximadas de conducción entre los pueblos en km (véase tabla 1 para números de los pueblos)

	0	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*13*	*14*	*15*	*16*	*17*	*18*	*19*	*20*	*21*	*22*
0	0																						
1	150	0																					
2	162	76	0																				
3	139	29	47	0																			
4	186	138	45	92	0																		
5	191	64	29	76	64	0																	
6	180	14	79	43	124	50	0																
7	254	151	97	146	61	82	91	0															
8	89	79	97	50	142	126	93	194	0														
9	216	118	60	107	24	54	104	33	157	0													
10	114	65	51	36	96	80	79	144	86	111	0												
11	74	105	91	69	136	120	119	184	39	151	40	0											
12	76	126	112	90	157	141	140	205	60	172	61	21	0										
13	118	102	62	73	72	86	116	159	102	222	37	63	42	0									
14	21	155	141	119	186	170	169	234	89	201	90	50	49	91	0								
15	59	145	131	109	176	160	159	224	79	191	80	40	19	61	49	0							
16	67	137	155	108	127	184	151	254	58	215	134	85	84	126	65	84	0						
17	35	140	126	104	171	155	154	219	74	186	75	35	34	76	15	34	50	0					
18	33	202	188	166	233	217	216	281	78	248	137	97	96	138	52	96	97	62	0				
19	36	140	150	111	195	179	154	243	61	210	99	59	58	102	39	58	35	24	66	0			
20	47	217	203	181	248	232	231	296	93	263	152	112	111	153	67	111	112	77	15	81	0		
21	42	311	297	275	342	326	325	390	187	357	246	206	205	247	161	205	206	102	115	106	55	0	
22	74	241	227	205	272	256	255	320	117	287	176	136	135	177	91	135	136	101	39	105	24	74	0
23	68	240	226	204	271	255	254	319	116	286	175	135	134	176	90	134	135	100	63	104	48	72	66
24	77	205	191	169	236	220	219	284	139	251	140	100	79	121	109	60	144	94	103	109	118	94	142
25	2	172	158	136	203	187	186	251	48	218	107	67	66	108	22	66	67	32	30	36	45	70	69
26	47	208	194	172	239	223	222	287	84	254	143	103	102	144	58	102	103	68	22	72	15	45	34
27	76	92	110	63	155	139	106	209	13	170	99	52	73	115	63	93	45	48	62	48	125	150	149
28	151	297	283	261	328	312	311	376	173	343	232	192	191	233	147	191	192	157	135	161	140	112	197
29	162	342	328	306	373	357	356	421	218	388	277	237	236	278	192	236	237	202	175	206	160	142	148
30	127	303	289	267	334	318	317	382	179	349	238	198	197	239	153	197	198	163	126	167	111	135	129
31	165	328	314	292	359	343	342	407	204	374	263	223	222	264	178	222	223	188	151	192	136	160	154
32	200	388	374	352	419	403	402	467	264	434	323	283	282	324	238	282	283	248	221	252	206	188	194
33	146	307	293	271	338	322	321	386	183	353	242	202	201	243	157	201	202	167	130	171	135	107	148
34	132	302	288	266	333	317	316	381	178	348	237	197	196	238	152	196	197	162	135	166	120	102	108
35	134	324	310	288	355	339	338	403	200	370	259	219	218	260	174	218	219	184	157	188	142	124	130
36	113	250	236	214	281	265	264	329	126	296	185	145	144	186	100	144	145	110	73	114	78	50	89
37	63	235	221	199	266	250	249	314	111	281	170	130	129	171	85	129	130	95	58	99	63	35	74
38	85	258	244	222	289	273	272	337	134	304	193	153	152	194	108	152	153	118	81	122	66	90	84
39	108	276	262	240	307	291	290	355	152	322	211	171	170	212	126	170	171	136	99	140	84	108	102
40	109	290	276	254	321	305	304	369	166	336	225	185	184	226	140	184	185	150	113	154	118	90	129
41	80	282	268	246	313	297	296	361	158	328	217	177	176	218	132	176	177	142	105	146	110	82	121
42	141	188	140	159	95	159	219	156	130	119	123	91	70	76	119	82	154	104	166	128	181	206	205
43	85	143	129	114	137	158	157	220	80	187	78	71	50	65	80	31	115	65	127	89	142	167	166

	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
0																					
1																					
2																					
3																					
4																					
5																					
6																					
7																					
8																					
9																					
10																					
11																					
12																					
13																					
14																					
15																					
16																					
17																					
18																					
19																					
20																					
21																					
22																					
23	0																				
24	166	0																			
25	68	73	0																		
26	32	109	36	0																	
27	148	153	80	116	0																
28	131	198	125	117	205	0															
29	112	243	170	144	250	24	0														
30	63	229	131	95	211	80	60	0													
31	88	254	156	120	236	69	50	47	0												
32	158	289	216	190	296	56	46	102	55	0											
33	112	208	135	112	215	7	29	80	76	75	0										
34	72	203	130	104	210	40	40	40	52	86	40	0									
35	94	199	126	103	206	22	44	62	72	60	15	22	0								
36	85	151	78	55	158	62	107	63	119	36	57	50	48	0							
37	70	136	63	40	143	77	122	78	134	153	72	67	63	15	0						
38	18	184	86	50	166	113	94	45	70	90	90	54	76	50	69	0					
39	36	202	104	68	184	95	76	27	52	72	72	36	58	36	51	18	0				
40	125	191	118	95	198	65	115	115	127	30	50	75	53	42	55	91	73	0			
41	117	183	110	87	190	69	157	125	158	24	62	117	62	55	47	124	106	38	0		
42	204	142	136	172	152	261	306	267	292	352	271	266	262	214	199	222	240	254	246	0	
43	165	91	97	133	113	222	267	192	253	313	232	227	223	175	160	183	201	215	207	63	0

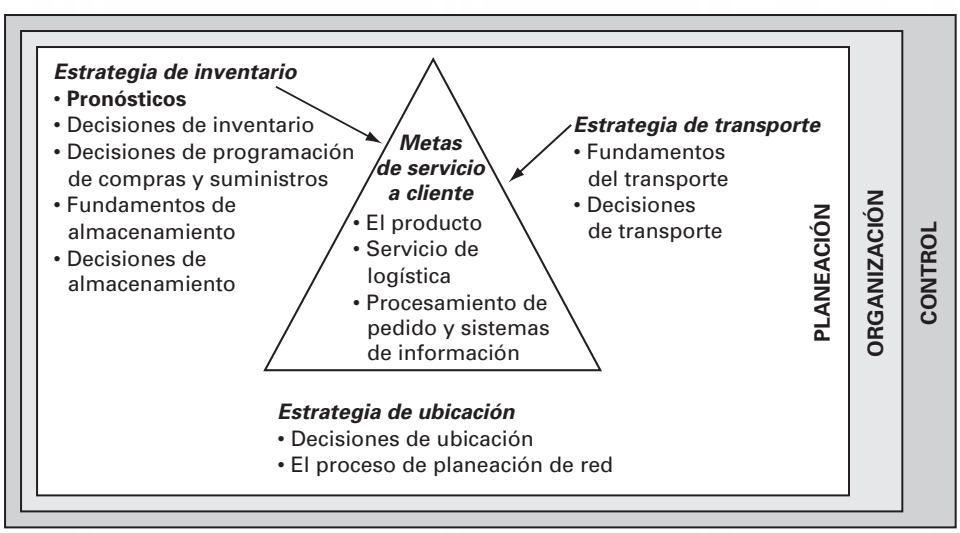
Capítulo 8

Pronóstico de los requerimientos de la cadena de suministros

Siete años de abundancia vendrán a la tierra… pero seguirán siete años de hambruna, y entonces, toda la abundancia será olvidada…

—GÉNESIS 41: 28-30

La planeación y el control de las actividades de logística y de la cadena de suministros requieren estimados precisos de los volúmenes de producto y de servicio que serán manejados por la cadena de sumi-



nistros. Estos estimados de ordinario se presentan en la forma de pronósticos y predicciones. Sin embargo, por lo regular no es responsabilidad única de quien está al frente de la logística el generar los pronósticos generales para la empresa. Es más probable que esta tarea se asigne a marketing, planeación económica o a un grupo especialmente conformado. Bajo ciertas circunstancias, en particular en la planeación de corto plazo, como el control de inventarios, la magnitud de los pedidos o la programación del transporte, el responsable de la logística con frecuencia enfrenta la necesidad de asumir la labor de generar este tipo de información. Por ello, este capítulo es una visión general de las técnicas de pronóstico que se utilizarán más probablemente para la planeación y control de la logística.

El análisis está dirigido principalmente al pronóstico de la demanda. La necesidad de proyecciones de la demanda es un requerimiento general a lo largo del proceso de planeación y control. Sin embargo, también podrían necesitarse ciertos tipos de problemas de planeación, como control de inventarios, compras económicas y control de costos, pronósticos de los tiempos de espera, precios y costos. Las técnicas de pronósticos analizadas en este capítulo son igualmente aplicables.

Cuando la incertidumbre de la variable de predicción es tan alta que las técnicas estándar de pronósticos y su aplicación en la planeación de la cadena de suministros llevan a resultados insatisfactorios, se necesitarán otros métodos de planeación. El pronóstico de colaboración es un método contemporáneo para la predicción de la demanda. También se analizan estas alternativas para los pronósticos tradicionales.

Naturaleza de los pronósticos

El pronóstico de los niveles de demanda es vital para la firma como un todo, ya que proporciona los datos de entrada para la planeación y control de todas las áreas funcionales, incluyendo logística, marketing, producción y finanzas. Los niveles de demanda y su programación afectan en gran medida los niveles de capacidad, las necesidades financieras y la estructura general del negocio. Cada área funcional tiene sus propios problemas especiales de pronóstico. Los pronósticos en logística se relacionan con la naturaleza espacial así como temporal de la demanda, el grado de variabilidad y su aleatoriedad.

Demanda espacial *versus* demanda temporal

Tiempo o temporal se refiere a los niveles de demanda comunes en los pronósticos. La variación de la demanda en el tiempo es resultado del crecimiento o declinación de los índices de ventas, variación estacional del patrón de demanda, así como de las fluctuaciones generales ocasionadas por múltiples factores. La mayor parte de los métodos de pronóstico a corto plazo se relacionan con este tipo de variación temporal, a menudo denominada como series de tiempo.

La logística tiene tanto dimensiones de espacio como de tiempo. Es decir, el responsable de la logística deberá saber *dónde* tendrá lugar el volumen de demanda y *cuándo* lo hará. Se necesita localización espacial de la demanda para planear la ubicación del almacén, equilibrar los niveles de inventario a través de la red de logística y asignar geográficamente recursos de transportación. Las técnicas de pronóstico deberán seleccionarse pa-

ra reflejar las diferencias geográficas que puedan afectar los patrones de demanda. Las técnicas también pueden diferir, dependiendo de que toda la demanda sea pronosticada y luego desagrupada por ubicación geográfica (pronóstico de arriba hacia abajo), o si cada ubicación geográfica es pronosticada en forma individual y luego agrupada, si es necesario (pronóstico de abajo hacia arriba).

Demanda irregular *versus* demanda regular

Los responsables de la logística acomodan los productos en grupos para diferenciar niveles de servicio entre ellos o simplemente para manejarlos de forma distinta. Estos grupos y los artículos individuales dentro de ellos forman distintos patrones de demanda en el tiempo. Cuando la demanda es "regular", típicamente podrá representarse por alguno de los patrones generales que se muestran en la figura 8-1. Es decir, los patrones de demanda por lo regular podrán descomponerse en componentes de tendencia, estacionales y aleatorios. En tanto las variaciones aleatorias sean una pequeña proporción de la variación restante en la serie de tiempo, se obtendrá en general un adecuado pronóstico a partir de los procedimientos de pronóstico tradicionales.

Cuando la demanda para los artículos es intermitente, debido a un bajo volumen general y a un alto grado de incertidumbre en cuanto al momento y la cantidad en que se presentará el nivel de demanda, se dice que la serie de tiempo es desproporcionada o irregular, como en la figura 8-2. Este patrón a menudo se encuentra en los productos que se están introduciendo o retirándose de la línea de productos, demandados por relativamente pocos clientes, divididos entre muchas ubicaciones de inventario y de manera que la demanda en cada ubicación es baja o es derivada de la demanda por otros artículos. Tales patrones de demanda son particularmente difíciles de pronosticar utilizando las técnicas más populares. Sin embargo, debido a que tales artículos representan hasta 50% de los productos que las empresas manejan, representan un problema especial de pronóstico de la demanda para el responsable de la logística.

Demanda derivada *versus* demanda independiente

La naturaleza de la demanda puede diferir en gran medida, dependiendo de la operación de la empresa para la cual el responsable de la logística debe planear. Por un lado, la demanda es generada por parte de muchos clientes, la mayoría de los cuales adquieren en forma individual solo una fracción del volumen total distribuido por la empresa. Se dice que esta demanda es independiente. Por otro lado, la demanda es derivada a partir de los requerimientos especificados en un programa de producción, y se dice que esta demanda es dependiente. Por ejemplo, el número de llantas nuevas que se ordenaran a un proveedor será un múltiplo del número de automóviles nuevos que el fabricante construirá. Esta diferencia fundamental ocasiona formas alternativas en las que los requerimientos se pronostican.

Cuando la demanda es independiente, los procedimientos de pronósticos estadísticos funcionan bien. La mayoría de los modelos de pronósticos de corto plazo están basados en condiciones de independencia o aleatoriedad en la demanda. En contraste, los patrones de demanda derivada son altamente sesgados y no aleatorios. El entendimiento de estos sesgos reemplaza la necesidad de pronosticar, ya que la demanda se conoce con certeza.

El pronóstico de los requerimientos mediante el procedimiento de demanda derivada da por resultado pronósticos perfectos en la medida en que la demanda del producto final se conozca con certeza. Este tipo de procedimiento es un buen ejemplo de la forma

Figura 8-1 Algunos patrones típicos de demanda "regular"

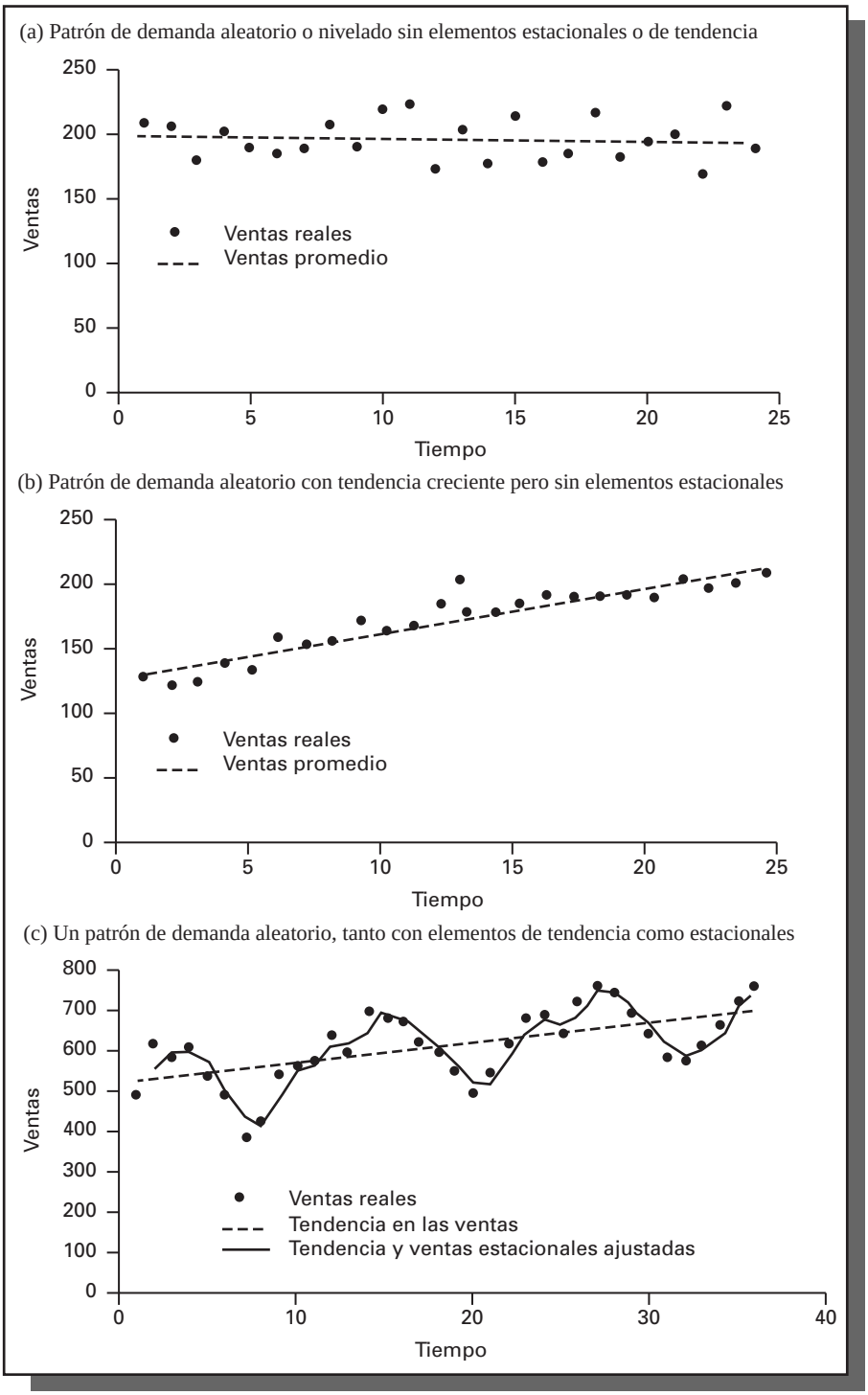
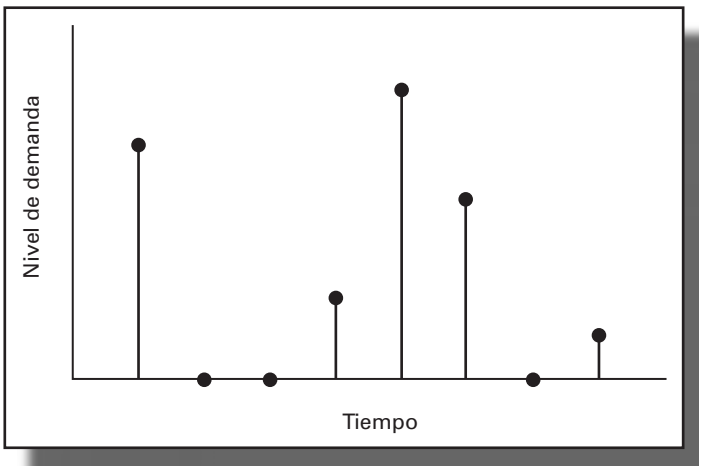


Figura 8-2
Ejemplo de un patrón de demanda irregular



como el pronóstico se mejora mediante el reconocimiento de sesgos, regularidades y patrones sistemáticos que se presentan en la demanda en el tiempo. Cuando las causas para la variación de la demanda se desconocen y son resultado de muchos factores, se presenta la aleatoriedad. Los procedimientos de pronóstico estadístico tratan de manera efectiva con este último caso, y serán el enfoque central del resto de este capítulo.

Ejemplo

La división de equipos de potencia de un gran fabricante produce una línea de motores eléctricos de potencia fraccional para clientes industriales, quienes a su vez los utilizan en productos finales, como limpiadores de pisos y pulidoras. Aunque no son productos particularmente complejos, cada motor puede contener 50 a 100 partes individuales. Los programas de producción se desarrollaron a partir de pedidos en firme que recibió la compañía, pero que serán enviados en una fecha futura, y por el pronóstico de ser los motores más estándar "listos para uso". Según estos requerimientos, se desarrolló un programa compilado para una producción anticipada de tres meses, el cual mostraba el momento en el que un modelo particular de motor sería producido y en qué cantidad. Luego era labor del gerente de materiales asegurar que todos los subcomponentes y materiales estuvieran disponibles para producción cuando fuera necesario.

Se utilizaron dos métodos generales para determinar los requerimientos para la planeación de suministro. Para aquellos materiales utilizados en la mayoría de los motores producidos (alambre de cobre, hoja de acero y pintura) se realizó un pronóstico de la tasa de utilización general. Luego se efectuaron las compras para respaldar un inventario. Los componentes de alto valor y hechos a la medida, como el eje y el cojinete del rotor, se adquirieron de acuerdo con los requerimientos del programa de producción. Los requerimientos para adquirir estos componentes se derivaron del programa compilado, "explotando" la lista de materiales. Por ejemplo, suponga que se van a fabricar tres modelos de motor en un mes particular. Se producirán 200, 300 y 400 motores para cada modelo. Cada modelo requiere el mismo eje del rotor, pero los modelos 1 y 2 requieren dos cojinetes cada uno y el modelo 3 requiere solo un cojinete. Por ello, los requerimientos para 900 ejes

de rotor y 1,400 cojinetes simplemente se derivan de la lista de materiales para cada modelo de motor y luego se combinan por tipo de componente para formar los requerimientos totales para cada parte.

Obsérvese que la compañía está utilizando una combinación de procedimientos de pronóstico estadístico y de demanda derivada para planear el flujo del suministro de materiales. El pronóstico estadístico se utilizó efectivamente en 20% de las materias primas. La planeación para requerimientos se reservó para el restante 10% de alto valor, crítico o ajustado al producto final.

Métodos de pronóstico

Se dispone de varios métodos de pronóstico estandarizados. Éstos se han dispuesto en tres grupos: cualitativos, de proyección histórica, y causales. Cada grupo difiere en términos de la precisión relativa en el pronóstico sobre el largo plazo y el corto plazo, en el nivel de sofisticación cuantitativa utilizada y en la base lógica (información histórica, opinión experta o encuestas) de la que se deriva el pronóstico. En la tabla 8-1 se proporciona un resumen y una breve descripción de algunas técnicas populares de pronóstico, incluyendo estos métodos populares.

Métodos cualitativos

Los métodos cualitativos utilizan el juicio, la intuición, las encuestas o técnicas comparativas para generar estimados cuantitativos acerca del futuro. La información relacionada con los factores que afectan el pronóstico por lo general es no cuantitativa, intangible y subjetiva. La información histórica tal vez esté disponible o quizá no sea muy relevante para el pronóstico. La naturaleza no científica de los métodos los hacen difíciles de estandarizar y de validar su precisión. Sin embargo, estos métodos pueden ser los únicos disponibles cuando se intenta predecir el éxito de nuevos productos, cambios en la política gubernamental o el impacto de una nueva tecnología. Son métodos más bien adecuados para pronósticos de mediano a largo plazo.

Métodos de proyección histórica

Cuando se dispone de una cantidad razonable de información histórica y las variaciones de tendencia y estacionales en las series de tiempo son estables y bien definidas, la proyección de esta información al futuro puede ser una forma efectiva de pronóstico para el corto plazo. La premisa básica es que el patrón del tiempo futuro será una réplica del pasado, al menos en gran parte. La naturaleza cuantitativa de las series de tiempo estimula el uso de modelos matemáticos y estadísticos como las principales herramientas de pronóstico. La precisión que puede lograrse para periodos de pronóstico menores a seis meses por lo general es buena. Estos modelos trabajan en forma adecuada simplemente debido a la estabilidad inherente de las series de tiempo en el corto plazo.

Los modelos de las series de tiempo de los tipos observados en la tabla 8-1 son de naturaleza reactiva. Estos modelos rastrean los cambios al ser actualizados a medida que se dispone de nueva información, característica que les permite adaptarse a los cambios en los patrones de tendencia y estacionales. Sin embargo, si el cambio es rápido, los modelos

Tabla 8-1 Resumen de técnicas de pronóstico seleccionadas[a]

Método	Descripción	Horizonte de tiempo del pronóstico[x]
Delphi[b]	Un panel de expertos es interrogado mediante una secuencia de cuestionarios en los que las respuestas a un cuestionario se utilizan para producir el segundo cuestionario. De esta forma, cualquier información disponible para unos expertos y no para otros, es transmitida a estos últimos, lo que permite que todos los expertos tengan acceso a toda la información para el pronóstico. Esta técnica elimina el efecto de tendencia moderna de la opinión mayoritaria.	Medio-Largo
Investigación de mercado[c]	Procedimiento sistemático, formal y conciente de evolución y validación de hipótesis sobre mercados reales.	Medio-Largo
Consenso de panel	Esta técnica se basa en la suposición de que muchos expertos pueden llegar a un mejor pronóstico que una sola persona. No existen secretos y se fomenta la comunicación. Los pronósticos en ocasiones son influidos por factores sociales y quizá no reflejen un verdadero consenso. Las solicitudes de opiniones ejecutivas caen en esta categoría.	Medio-Largo
Estimado de la fuerza de ventas	Pueden recabarse las opiniones de la fuerza de ventas, ya que los vendedores son los más cercanos a los clientes y se encuentran en buena posición para estimar sus necesidades.	Corto-Mediano
Pronóstico visionario	Profecía en que se utilizan perspectivas personales, juicios y, en la medida de lo posible, hechos acerca de distintos escenarios futuros. Se caracteriza por conjeturas subjetivas e imaginación; en general, los métodos utilizados no son científicos.	Medio-Largo
Analogía histórica[d]	Este es un análisis comparativo de la introducción y crecimiento de nuevos productos similares que basan el pronóstico en patrones de similitud.	Medio-Largo
Promedios[e] móviles	Cada punto de un promedio móvil de una serie de tiempo es el promedio aritmético o ponderado de un número de puntos consecutivos de la serie, donde el número de puntos de información se selecciona de manera que los efectos de estacionalidad o irregularidad se eliminen.	Corto
Ajuste o suavización exponencial[f]	Esta técnica es similar a los promedios móviles, excepto que los puntos que son más recientes reciben mayor ponderación. En forma descriptiva, el nuevo pronóstico será igual al anterior más cierta parte del error de pronóstico pasado. La nivelación exponencial doble o triple son versiones complejas del modelo básico que explican la variación de tendencia y de estacionalidad en la serie de tiempo.	Corto
Box-Jenkins[g]	Complejo procedimiento iterativo basado en computadora que produce un modelo de promedios móviles integrado y autoregresivo, que se ajusta para los factores de tendencia y estacionales, estima los parámetros apropiados de ponderación, valida el modelo y repite el ciclo según sea apropiado.	Corto-Mediano
Descomposición de series de tiempo[h]	Método para descomponer una serie de tiempo en componentes estacionales, de tendencia y regularidad. Es bastante adecuado para identificar puntos críticos y es una excelente herramienta de pronóstico para el periodo de tiempo mediano-largo, es decir, de tres a 12 meses.	Corto-Mediano

Proyecciones de tendencia[i]	Esta técnica ajusta una línea de tendencia utilizando una ecuación matemática y luego proyectándola al futuro por medio de la ecuación. Existen muchas variaciones: método de pendiente característica, de polinomios, logarítmicas, etcétera.	Corto-Mediano
Pronóstico objetivo[j]	Valida varias reglas simples de decisión para ver cuál es la más precisa sobre el periodo de los tres meses siguientes. Se utiliza simulación por computadora para validar las distintas estrategias sobre información pasada.	Medio
Análisis espectral[k]	El método intenta descomponer una serie de tiempo en sus componentes fundamentales, denominados espectro. Estos componentes son representados mediante curvas geométricas seno-coseno. Al volver a reunir estos componentes se genera una expresión matemática que puede utilizarse para pronósticos.	Corto-Mediano
Modelo de regresión[l]	Relaciona la demanda con otras variables que "causan" o explican su nivel. Las variables se seleccionan sobre la base de significancia estadística. La disponibilidad general de programas de regresión por computadora más poderosos hacen de ésta, una técnica popular.	Corto-Mediano
Modelo econométrico[m]	Un modelo econométrico es un sistema de ecuaciones de regresión interdependientes que describe las ventas de cierto sector económico. Los parámetros de la ecuación de regresión por lo general se estiman en forma simultánea. Como regla, estos modelos son relativamente costosos de desarrollar; sin embargo, debido al sistema de ecuaciones inherente en tales modelos, éstos expresarán mejor las causalidades involucradas de una ecuación de regresión ordinaria, y por lo tanto predecirán en forma más precisa los puntos críticos.	Corto-Mediano
Encuestas de intención de compra y anticipación[n]	Estas encuestas del público: *a)* determinan la intención de comprar ciertos artículos, o *b)* obtienen un índice que mide el sentimiento general sobre el presente y el futuro, y estiman en qué medida este sentimiento afectará los hábitos de compra. Estos métodos para pronosticar son más útiles para el seguimiento y advertencia que para el pronóstico. El problema básico al utilizarlos es que un punto crítico puede ser señalado en forma incorrecta.	Medio
Modelo de entrada-salida[o]	Método de análisis que se refiere al flujo de bienes o servicios interindustria o interdepartamental en la economía y sus mercados. Muestra los flujos de entrada que deben ocurrir para obtener ciertas salidas. Debe invertirse un esfuerzo considerable para utilizar estos métodos de manera adecuada, y debe obtenerse un detalle adicional, normalmente no disponible, si se desea aplicar a negocios específicos.	Medio
Modelo de entrada-salida económico[p]	Los modelos econométricos y modelos de entrada-salida en ocasiones se combinan para el pronóstico. El modelo de entrada-salida se utiliza para proporcionar tendencias a largo plazo para el modelo econométrico. También estabiliza el modelo econométrico.	Medio
Indicadores líderes[q]	Pronósticos generados a partir de una o más variables precedentes que sistemáticamente se encuentran relacionadas con la variable que se predecirá.	Corto-Mediano
Análisis del ciclo de vida[r]	Es un análisis y pronóstico del crecimiento de un nuevo producto con base en las curvas *S*. Las fases de la aceptación de producto según distintos grupos como innovadores, adoptante temprano, mayoría temprana, mayoría tardía, y rezagados son centrales para el análisis.	Mediano-Largo

Tabla 8-1 (*cont.*)

MÉTODO	DESCRIPCIÓN	HORIZONTE DE TIEMPO DEL PRONÓSTICO[x]
Filtrado adaptativo	Derivado de la combinación ponderada de los resultados reales y estimados, alterados sistemáticamente para reflejar cambios de patrones de información.	Corto-Mediano
Simulación dinámica[s]	Este método utiliza la computadora para simular en el tiempo el efecto de las ventas de producto final sobre los requerimientos en distintos puntos del canal de distribución y suministros. Los requerimientos se indican mediante políticas de inventarios, programas de producción y políticas de compras.	Mediano-Largo
Respuesta precisa[t]	Proceso simultáneo de mejora de pronósticos y rediseño de procesos de planeación para minimizar el impacto de los pronósticos imprecisos. La respuesta precisa supone averiguar lo que los responsables de los pronósticos pueden o no predecir bien, para luego hacer rápida y flexible la cadena de suministros, de manera que los directivos puedan posponer las decisiones sobre sus artículos menos predecibles hasta que ellos cuenten con señales de mercado, como los resultados de las primeras ventas, para ayudarles a ajustar en forma adecuada la oferta con la demanda.	
Redes neuronales[u]	Modelos matemáticos de pronóstico inspirados en el funcionamiento de las neuronas biológicas. Se caracterizan por su habilidad para aprender a medida que se cuenta con mayor información. La precisión del pronóstico parece ser mejor que con otros métodos de series de tiempo cuando la serie de tiempo es discontinua.	Corto
Pronósticos de colaboración[v]	Los miembros del canal de suministros en forma conjunta mantienen y actualizan un solo proceso de pronóstico para generar un pronóstico que sea más preciso que el que pudiera generarse en forma individual. Los pronósticos de colaboración tienen mayor probabilidad de ofrecer mejores resultados sobre los pronósticos generados por los miembros individuales cuando cada miembro aporta algo único al proceso de pronóstico.	Corto
Pronóstico basado en reglas[w]	El método utiliza un sistema experto para pronosticar. Mediante la experiencia, se desarrollan reglas del tipo "si entonces", que guían el manejo de la preparación de cuestiones de información y del modelo de pronóstico. El pronóstico de experiencia, según lo expresa la base de regla y conocimiento del dominio, se utiliza para generar pronósticos de acuerdo con las características de información.	Corto-Largo

Camino aleatorio	Este método utiliza como pronóstico la observación más reciente. Puede ser el método de elección cuando existe alta incertidumbre y no hay tendencia en las series de tiempo.	Corto

[a]Actualizado y ampliado de los artículos originales de John C. Chambers, Satinder K. Mulick y Donald D. Smith. Reimpreso con permiso de *Harvard Business Review* (una muestra de "How to Choose the Right Forecasting Technique", por J.C. Chambers, S.K. Mulick y D.D. Smith (julio/agosto de 1971). Derechos reservados © 1971 por el presidente y los miembros de Harvard College; todos los derechos reservados); y David M. Georgoff y Robert G. Murdick, "Manager's Guide to Forecasting", *Harvard Business Review,* Vol. 64 (enero-febrero de 1986), págs. 110-120.

[b]Harper Q. North y Donald L. Pyke, "Probes of Technological Future", *Harvard Business Review* (mayo-junio de 1969), pág. 68.

[c]Paul E. Green, Donald S. Tull, Gerard Albaum, *Research of Marketing Decision,* 5a. ed. (Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1988).

[d]Milton Spencer, Colin Clark, Peter Hoguet, *Business and Economics Forecasting* (Homewood, IL: Irwin 1961).

[e]Richard B. Chase, Nicholas J. Aquilano, *Production and Operations Management* (Homewood, IL: Irwin, 1989), págs. 223-226.

[f]R.G. Brown, *Smoothing and Prediction of Discrete Time Series* (Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1963).

[g]E.P. Box, G.M. Jenkins, *Time Series Analysis, Forecasting and Control* (San Francisco: Holden-Day, 1970).

[h]Bruce L. Bowerman, Richard T. O'Connell, *Time Series Forecasting* (Boston: Duxbury Press, 1987), Sec. 5.6.

[i]John Neter, William Wasserman, G.A. Whitmore, *Applied Statistics* (Boston: Allyn and Bacon, 1988), págs. 820-846.

[j]Bernard T. Smith, Oliver W. Wight, *Focus Forecasting: Computer Techniques for Inventory Control* (Boston: CBI Publishing, 1978).

[k]Hung Chan, Jack Hayya, "Spectral Analysis in Business Forecasting", *Decision Sciences,* Vol. 7 (1976), págs. 137-151.

[l]John Neter, William Wasserman, Michael H. Kutner, *Applied Linear Regression Models* (Homewood, IL: Richard D. Irwin, 1983).

[m]J. Johnston *Econometric Methods* (Nueva York: McGraw-Hill, 1963); R.C. Clelland, J.S. deCani, F.E. Brown, J.P. Bursk, D.S. Murray, *Basic Statistics with Business Applications* (Nueva York: John Wiley, 1966), págs. 522-559.

[n]Publications of Survey Research Center, Institute for Social Research, University of Michigan; y U.S. Bureau of the Census.

[o]W.W. Leontief, *Input-Output Economic* (Nueva York: Oxford University Press, 1966).

[p]Michael Evans, Artículo de opinión #138, Wharton School of Finance and Commerce, University of Pennsylvania.

[q]Michael Evans, *Macro-Economic Activity: Theory, Forecasting and Control* (Nueva York: Harper & Row, 1969).

[r]Philip Kotler, *Marketing Management,* 6a. ed. (Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1988), págs. 421-425.

[s]Jay W. Forrester, "Industrial Dynamics: A Major Breakthrough for Decision Makers", *Harvard Business Review* (julio-agosto de 1958), págs. 37-66.

[t]Marshall L. Fisher, Janice H. Hammond, Walter R. Obermeyer, Ananth Raman, "Making Supply Meet Demand in an Uncertain World", *Harvard Business Review,* Vol. 72 (mayo-junio de 1994), págs. 83-89 en adelante.

[u]Tim Hill, Marcus O'Conner, William Remus, "Neural Network Model for Time Series Forecasts", *Management Science*, Vol. 47, Núm. 10 (octubre de 2001), págs 1326-1343; y www.cpfr.org

[v]Yossi Aviv, "The effect if Collaborative Forecasting pm Supply Chain Performance", *Management Science,* Vol. 47, Núm. 10 (octubre de 2001), págs. 1326-1343, y www.cpfr.org.

[w]Fred Collopy, J. Scott Armstrong, "Rule-Based Forecasting: Development and Validation of an Expert System Approach to Combining Time Series Extrapolations", *Management Science*, Vol. 38, Núm. 10 (1992), págs. 1394-1414.

[x]*Corto plazo* es un periodo menor de seis meses; *medio plazo* es un periodo de seis meses a algunos años; y el *largo plazo* es mayor que varios años.

no emiten una señal del cambio, sino hasta que éste ha ocurrido. Debido a esto, se dice que las proyecciones de estos modelos demoran los cambios fundamentales en las series de tiempo, y que son débiles para señalar los puntos críticos antes de que se presenten. Esta no es necesariamente una limitación notable cuando los pronósticos se realizan sobre horizontes de tiempo cortos, a menos que los cambios sean particularmente espectaculares.

Métodos causales

La premisa básica sobre la que se construyen los métodos causales para pronósticos es que el nivel de la variable pronosticada se deriva del nivel de otras variables relacionadas. Por ejemplo, si se sabe que el servicio al cliente tiene un efecto positivo sobre las ventas, entonces al conocer el nivel proporcionado del servicio al cliente podrá proyectarse el nivel de las ventas. Podríamos decir que el servicio "causa" las ventas. En la medida que puedan describirse adecuadas relaciones de causa y efecto, los modelos causales pueden ser bastante buenos para anticipar cambios mayores en las series de tiempo y para pronosticar de manera precisa sobre un periodo de mediano a largo.

Los modelos causales vienen en una variedad de formas: estadísticos, en el caso de los modelos de regresión y econométricos; y descriptivos, como en el caso de los modelos de entrada-salida, ciclo de vida y simulación por computadora. Cada modelo deriva su validez a partir de los patrones de información histórica que establecen la asociación entre las variables para predicción y la variable que se pronosticará.

Un problema principal con esta categoría de modelos de pronóstico es que con frecuencia resulta difícil encontrar verdaderas variables causales. Cuando se encuentran, su asociación con la variable que se pronosticará con frecuencia es preocupantemente baja. Las variables causales que guían a la variable de pronóstico en el tiempo son incluso más difíciles de encontrar. Con demasiada frecuencia, el tiempo para adquirir la información para las variables conducentes consume todo el tiempo o la mayor parte del periodo de uno a seis meses, en el que se encuentra que tales variables dirigen al pronóstico. Los modelos basados en técnicas de regresión y económicas pueden experimentar un error de pronóstico importante debido a estos problemas.

Técnicas útiles para los responsables de la logística

En general, el responsable de la logística no tiene que preocuparse directamente del amplio espectro de técnicas de pronóstico y predicción disponibles. Debido a que varios segmentos de la organización requieren información pronosticada, en especial el pronóstico de ventas, la actividad de pronosticar por lo general se centraliza en las áreas de marketing, planeación o análisis económico de la empresa. Los pronósticos para periodos mediano y largo por lo regular se le proporcionan al responsable de la logística. A menos que exista la necesidad de desarrollar pronósticos específicos de largo plazo, la labor del responsable de la logística estará limitada a los pronósticos de corto plazo que ayudan en el control de inventarios, programación de envíos, planeación de la carga de almacén y similares. Con base en el grado de sofisticación, utilidad potencial y probabilidad de la disponibilidad de información, sólo un número limitado de los métodos descritos en la tabla 8-1 requieren ser considerados con detalle. Esto se debe a que en numerosos estudios se ha demostrado que los modelos "simples" de la variedad de series de tiempo con fre-

cuencia predicen tan bien o mejor que las versiones más sofisticadas y complejas. Los modelos de series de tiempo pueden ser superiores a los modelos causales. En general, la complejidad de los modelos de pronóstico no incrementa la precisión predictiva[1]. Por ello, a continuación se analizan tres metodologías básicas de pronóstico de series de tiempo: nivelación exponencial, descomposición clásica de series de tiempo y análisis de regresión múltiple.

Nivelación o ajuste exponencial

Tal vez, la técnica más útil para el pronóstico de corto plazo sea el ajuste exponencial. Es simple, requiere que una cantidad mínima de información sea conservada para su aplicación continua, se ha observado que es la más precisa entre los modelos competidores de su clase, y es autoadaptable a los cambios fundamentales en la información pronosticada. Es un tipo de promedio móvil, donde las observaciones pasadas no reciben la misma ponderación. En vez de ello, las observaciones que son más recientes reciben mayor ponderación que las anteriores.

Tal esquema de ponderación geométrica puede reducirse a una simple expresión que incluye sólo al pronóstico del periodo más reciente y a la demanda real para el periodo actual. De esta forma, el pronóstico de demanda para el siguiente periodo estará dado por

$$\text{Pronóstico nuevo} = \alpha\,(\text{demanda real}) + (1 - \alpha)(\text{pronóstico previo}) \qquad \textbf{(8-1)}$$

donde α es un factor de ponderación, comúnmente denominado como la constante de ajuste exponencial, con valores entre 0 y 1. Obsérvese que el efecto de toda la historia está incluido en el pronóstico anterior, de manera que sólo se requiere conservar un número en todo momento para representar la historia de la demanda.

Ejemplo

Suponga que se pronosticó un nivel de demanda de 1,000 unidades para el presente mes. La demanda real para el mes presente son 950 unidades. El valor de la constante de ajuste es = 0.3. El valor esperado para la demanda del siguiente mes, de acuerdo con la ecuación (8-1), sería

$$\begin{aligned}\text{Pronóstico nuevo} &= 0.3(950) + 0.7(1{,}000)\\ &= 985 \text{ unidades}\end{aligned}$$

Este pronóstico se vuelve el pronóstico anterior cuando el procedimiento se repita el próximo mes. Y así sucesivamente.

Por conveniencia podemos escribir este modelo de "sólo de nivel" como

$$F_{t+1} = \alpha\, A_t + (1 - \alpha)F_t \qquad \textbf{(8-2)}$$

[1] Para un resumen de estos resultados, ver Robin M. Hogarth y Spyros Makridakis, "Forecasting and Planning: An Evaluation", *Management Science*, Vol. 27, Núm. 2 (febrero de 1981), págs. 115-138.

donde

t = periodo de tiempo presente
α = constante de ajuste exponencial
A_t = demanda en el periodo t
F_t = pronóstico para el periodo t
F_{t+1} = pronóstico para el periodo siguiente a t, o el siguiente periodo

Esta es idéntica a la ecuación (8-1).

Ejemplo

La siguiente información trimestral representa una serie de tiempo de la demanda para un producto:

	TRIMESTRE			
	1	2	3	4
Año pasado	1,200	700	900	1,100
Este año	1,400	1,000	F_3 = ?	

Quisiéramos pronosticar la demanda para el tercer trimestre de este año. Asumiremos que $\alpha = 0.2$ y que el pronóstico anterior se construye a partir del promedio de los cuatro trimestres del último año. Por ello, $F_0 = (1{,}200 + 700 + 900 + 1{,}100)/4 = 975$. Comenzamos con el pronóstico del primer trimestre y luego continuamos con los cálculos hasta que alcancemos el tercer trimestre.

El pronóstico para el primer trimestre del este año es

$$\begin{aligned} F_1 &= 0.2A_0 + (1 - 0.2)\,F_0 \\ &= 0.2(1{,}100) + 0.8(975) \\ &= 1{,}000 \end{aligned}$$

El pronóstico para el segundo trimestre de este año es

$$\begin{aligned} F_2 &= 0.2A_1 + (1 - 0.2)\,F_1 \\ &= 0.2(1{,}400) + 0.8(1{,}000) \\ &= 1{,}080 \end{aligned}$$

El pronóstico para el tercer trimestre de este año es

$$\begin{aligned} F_3 &= 0.2A_2 + (1 - 0.2)\,F_2 \\ &= 0.2(1{,}000) + 0.8(1{,}080) \\ &= 1{,}064 \end{aligned}$$

Resumiendo,

	TRIMESTRE			
	1	2	3	4
Año pasado	1,200	700	900	1,100
Este año	1,400	1,000		
Pronóstico	1,000	1,080	**1,064**	

La elección del valor adecuado para la constante de ajuste exponencial requiere un grado de discernimiento. Cuanto más alto sea el valor de α, mayor será la ponderación que se otorgue sobre los niveles más recientes de la demanda. Esto permite que el modelo responda más rápido a los cambios en la serie de tiempo. Sin embargo, un valor de α demasiado alto puede volver "nervioso" al pronóstico y rastrear variaciones aleatorias en la serie de tiempo en vez de los cambios fundamentales. Cuanto más pequeño sea el valor de α, mayor será el peso otorgado a la historia de la demanda para el pronóstico de la demanda futura y mayor será el retraso de tiempo para responder a los cambios fundamentales en el nivel de la demanda. Valores bajos de α proporcionan pronósticos muy "estables" que no son sujetos a fuertes influencias debido a la aleatoriedad en la serie de tiempo.

Los valores acordados para α típicamente van de 0.01 a 0.3, aunque es posible utilizar valores más altos para periodos cortos cuando se presenten cambios anticipados, como una recesión, una campaña promocional agresiva pero temporal, la suspensión de algunos productos en la línea, o el inicio del procedimiento de pronóstico cuando no se dispone de ventas históricas o éstas son muy pocas. Una buena regla cuando se busca un valor para α es seleccionar uno que permita al modelo de pronóstico identificar los cambios principales que ocurren en las series de tiempo y promediar las fluctuaciones aleatorias. Esta será una α para minimizar el error de pronóstico.

Corrección por tendencia

El modelo básico de ajuste exponencial da buenos resultados cuando se aplica a un patrón de series de tiempo, como se muestra en la figura 8-1(a), o cuando los cambios en los componentes de tendencia y estacionalidad no son tan grandes. Sin embargo, cuando existe una tendencia importante o un patrón estacional significativo en la información, el retraso inherente de pronóstico en este tipo de modelo puede arrojar errores inaceptables de pronóstico. Por fortuna, el modelo puede extenderse para proporcionar un mejor seguimiento cuando los elementos de tendencia y de estacionalidad son significativos a partir de la aleatoriedad de la información, como se muestra en la figura 8-1(b) y (c).

La corrección del modelo básico para pronosticar retrasos de tiempo debidos a la tendencia es una simple modificación de forma al modelo de "sólo nivel" en la ecuación (8-2). La versión de tendencia corregida del modelo es un conjunto de ecuaciones que pueden expresarse como

$$S_{t+1} = \alpha A_t + (1 - \alpha)(S_t + T_t) \quad \textbf{(8-3)}$$

$$T_{t+1} = \beta(S_{t+1} - S_t) + (1 - \beta)T_t \quad \textbf{(8-4)}$$

$$F_{t+1} = S_{t+1} + T_{t+1} \quad \textbf{(8-5)}$$

donde los símbolos adiciones no definidos con anterioridad son

F_{t+1} = pronóstico con tendencia corregida para el periodo $t+1$
S_t = pronóstico inicial para el periodo t
T_t = tendencia para el periodo t
β = constante de ajuste de tendencia

Ejemplo

Recuerde el ejemplo anterior que tenía la siguiente información:

	TRIMESTRE			
	1	2	3	4
Año pasado	1,200	700	900	1,100
Este año	1,400	1,000	F_3=?	

Seguimos buscando tener un pronóstico para el tercer periodo de este año, pero con una corrección por tendencia. Utilizaremos un valor arbitrario de inicio de $S_t = 975$ (el promedio de la demanda del último año) y $T_t = 0$ (sin tendencia). La constante de ajuste β se supone 0.3 y α permanece en el valor previo de 0.2. Ahora comenzamos el procedimiento de pronóstico.

El pronóstico para el primer trimestre de este año es

$$S_1 = .2(1{,}100) + .8(975 + 0) = 1{,}000$$
$$T_1 = .3(1{,}000 - 975) + .7(0) = 7.5$$
$$F_1 = 1{,}000 + 7.5 = 1{,}007.5$$

Utilizando los resultados del primer trimestre, el pronóstico para el segundo trimestre de este año es

$$S_2 = .2(1{,}400) + .8(1{,}000 + 7.5) = 1{,}086$$
$$T_2 = .3(1{,}086 - 1{,}000) + .7(7.5) = 31.05$$
$$F_2 = 1{,}086 + 31.05 = 1{,}117.05$$

Utilizando los resultados del segundo trimestre, el pronóstico para el tercer trimestre de este año es

$$S_3 = .2(1{,}000) + .8(1{,}086 + 31.05) = 1{,}093.64$$
$$T_3 = .3(1{,}093.64 - 1{,}086) + .7(31.05) = 24.03$$
$$F_3 = 1{,}093.64 + 24.03 = 1{,}117.67, \text{ o } \mathbf{1{,}118}$$

Resumiendo,

	TRIMESTRE			
	1	2	3	4
Año pasado	1,200	700	900	1,100
Este año	1,400	1,000		
Pronóstico	1,008	1,117	**1,118**	

Corrección por tendencia y estacionalidad

Además de la tendencia, también pueden considerarse los efectos de las fluctuaciones estacionales en las series de tiempo. Antes de aplicar este tipo de modelo, deben cumplirse dos condiciones.

1. Debe existir una razón conocida para los picos y valles periódicos en el patrón de la demanda, y estos picos y valles deben presentarse en el mismo tiempo cada año.
2. La variación estacional debe ser mayor que las variaciones aleatorias, o "ruido".

Si la demanda estacional no es estable, significativa ni discernible con respecto de las variaciones aleatorias, entonces se vuelve extremadamente difícil el desarrollo de un modelo que prediga en forma precisa la dirección de la demanda del siguiente periodo. Si éste es el caso, una forma básica del modelo de nivelación exponencial, con un alto valor para la constante de ajuste para reducir los efectos del retraso, podrá generar un menor error de pronóstico que con el modelo más complicado. Se requiere cautela en la selección del modelo.

El modelo de ajuste de tendencia-estacionalidad se construye alrededor del concepto de pronosticar el índice de la demanda real a la tendencia, y luego se desestacionaliza para generar el pronóstico. Las ecuaciones para este modelo son

$$S_{t+1} = \alpha\,(A_t / I_{t-L}) + (1 - \alpha)(S_t + T_t) \quad \textbf{(8-6)}$$

$$T_{t+1} = \beta(S_{t+1} - S_t) + (1 - \beta)T_t \quad \textbf{(8-7)}$$

$$I_t = \gamma(A_t / S_t) + (1 - \gamma)I_{t-L} \quad \textbf{(8-8)}$$

$$F_{t+1} = (S_{t+1} + T_{t+1})I_{t-L+1} \quad \textbf{(8-9)}$$

donde los símbolos no definidos con anterioridad son

F_{t+1} = pronóstico corregido en tendencia y estacionalidad para el periodo $t + 1$
γ = constante de ajuste sobre el índice de estacionalidad
I_t = índice de estacionalidad para el periodo t
L = el tiempo para una estación completa

La solución de este modelo implica los mismos procedimientos que para las versiones anteriores. El número de cálculos hace que resulte impráctico medir los pronósticos en forma manual. Los paquetes para computadoras, como el módulo de pronósticos de LOGWARE,[2] se desarrollaron no sólo para realizar el pronóstico, sino también para ayudar al usuario a establecer los valores iniciales para iniciar el proceso de pronóstico y determinar las mejores constantes de ajuste.

Definición del error de pronóstico

En la medida en que el futuro no es reflejado perfectamente por el pasado, el pronóstico de la demanda futura por lo general tendrá cierto grado de error. Dado que el ajuste exponencial es una predicción de la demanda promedio, se busca proyectar un rango dentro del cual caerá la demanda real. Esto requiere un pronóstico estadístico.

El error en el pronóstico se refiere a lo cerca que se halla el pronóstico del nivel de demanda real. Se expresa adecuadamente en forma estadística como desviación estándar, varianza o desviación absoluta media. Históricamente, la desviación absoluta media (DAM) se ha utilizado como la medida del error de pronóstico en referencia a la nivelación exponencial. Los primeros partidarios del ajuste exponencial preferían la desviación estándar como la medida adecuada, pero aceptaron el cálculo más simple de la DAM debido a la memoria limitada de las primeras computadoras. Ya que las computadoras actuales tienen una cantidad adecuada de memoria para la labor de pronóstico, la desviación estándar se desarrolla como la medida del error de pronóstico.

[2] Software disponible con este libro.

El error de pronóstico se define como

$$\text{Error de pronóstico} = \text{Demanda real} - \text{Demanda pronosticada} \qquad \textbf{(8-10)}$$

Dado que la demanda pronosticada es un valor de media aritmética, la suma de los errores de pronóstico sobre numerosos periodos deberá ser igual a cero. Sin embargo, la magnitud del error de pronóstico puede obtenerse al elevar al cuadrado los errores, lo que eliminará la cancelación de los errores positivos y negativos. De esta manera se desarrolla la forma común de la desviación estándar, y se corrige para el grado de libertad que se perdió en la generación del pronóstico; es decir, α en el modelo de pronóstico de "sólo nivel". La expresión para esta desviación estándar[3] es

$$S_F = \sqrt{\frac{\sum_t (A_t - F_t)^2}{N - 1}} \qquad \textbf{(8-11)}$$

donde

S_F = error estándar del pronóstico
A_t = demanda real en el periodo t
F_t = pronóstico para el periodo t
N = número de periodos de pronóstico t

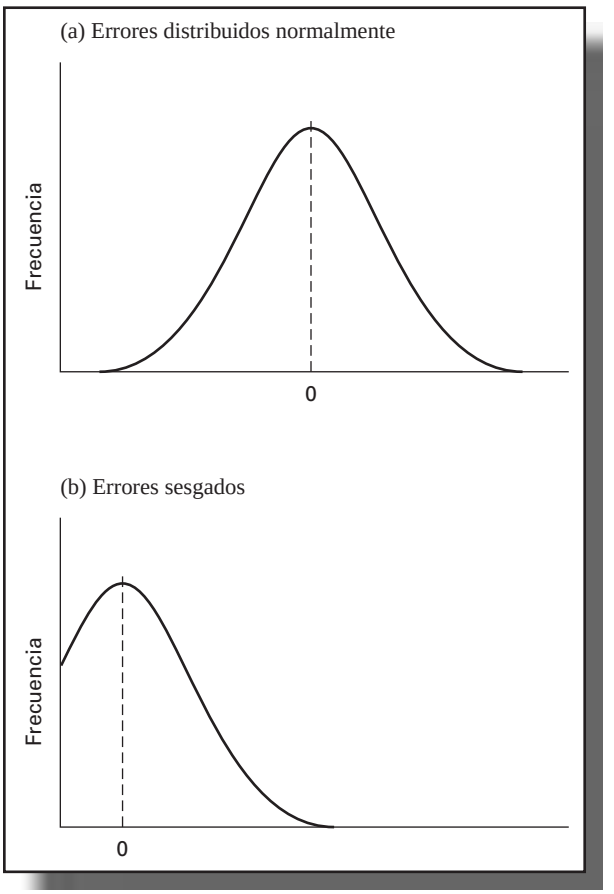
La forma de la distribución de frecuencia de los errores de pronóstico se vuelve importante al realizar afirmaciones sobre el pronóstico. En la figura 8-3 se muestran dos formas típicas generalizadas de la distribución del error de pronóstico. Suponiendo que el modelo de pronóstico da seguimiento al promedio de los niveles de demanda real en forma adecuada, y que la variación de la demanda real sobre el pronóstico es pequeña en relación con el nivel de pronóstico, la distribución de la frecuencia normal, o las aproximaciones a ella, será una forma que con probabilidad se encontrará en la práctica. Este será especialmente el caso de la distribución de los errores de pronóstico promedio. Se aplica el teorema del límite central,[4] y la distribución de frecuencia normal será la forma de distribución adecuada. Cuando el intervalo de pronóstico es corto, puede resultar una distribución sesgada, como la que se muestra en la figura 8-3(b).

Una forma de determinar la distribución de frecuencia que se aplica a cualquier situación particular es mediante prueba chi cuadrada de bondad del ajuste.[5] En forma alterna, la siguiente prueba puede utilizarse para seleccionar entre la forma de distribución normal (simétrica) y la de distribución exponencial como una representación simple de distribución sesgada.

En una distribución normal, cerca de 2% de las observaciones exceden un nivel de dos desviaciones estándar por encima de la media. En una distribución expo-

[3] En forma alterna, el error cuadrático medio y el error de raíz cuadrada media son formulaciones populares. Difieren en cuanto a si la raíz cuadrada se toma de la suma de los errores cuadráticos y si se realiza una corrección para los grados de libertad perdidos. Los grados de libertad perdidos dependen del número de constantes de ajuste estimadas en las ecuaciones modelo.
[4] Para una definición, consulte algún buen libro sobre estadística aplicada, o John Neter, William Wasserman, G.A. Gilmore, *Applied Statistics* (Boston: Allyn y Bacon, 1988), págs. 262-263.
[5] Íbid.

Figura 8-3
Distribuciones típicas de error de pronóstico.



nencial, la probabilidad de exceder la media por más de 2.75 desviaciones estándar es cerca de 2%. Por lo tanto, si el número de desviaciones estándar que equivalen a 98% de todas las observaciones es cercano a 2, deberá utilizarse una distribución normal. Si es superior a 2.7, deberá utilizarse la distribución exponencial.[6]

Ejemplo

Recuerde el pronóstico de "sólo nivel" que tenía la siguiente información y resultados:

	TRIMESTRE			
	1	2	3	4
Año pasado	1,200	700	900	1,100
Este año	1,400	1,000		
Pronóstico	1,000	1,080	**1,064**	

[6] Robert G. Brown, *Materials Management Systems* (Nueva York: John Wiley & Sons, 1977), pág. 146.

Ahora estimemos el error estándar del pronóstico (S_F) para los dos periodos (N = 2) para los cuales se realizó el pronóstico y los valores de demanda real se encuentran disponibles. Suponiendo que la demanda se distribuye en forma normal sobre el pronóstico, podemos desarrollar un intervalo de confianza de 95% alrededor del pronóstico del tercer trimestre. Con base en la ecuación (8-11), estimamos S_F.

$$S_F = \sqrt{\frac{(1,400 - 1,000)^2 + (1,000 - 1,080)^2}{2 - 1}}$$
$$= 407.92$$

El mejor estimado para el nivel de demanda real (Y) para el tercer trimestre con $z_{@95\%} = 1.96$ a partir de una tabla de distribución normal (ver apéndice A) es

$$Y = F_3 \pm z(S_F)$$
$$= 1,064 \pm 1.96(407.92)$$
$$= 1,064 \pm 800$$

Por ello, el rango de confianza de 95% para el pronóstico de la demanda actual (Y) es

$$264 < Y < 1,864$$

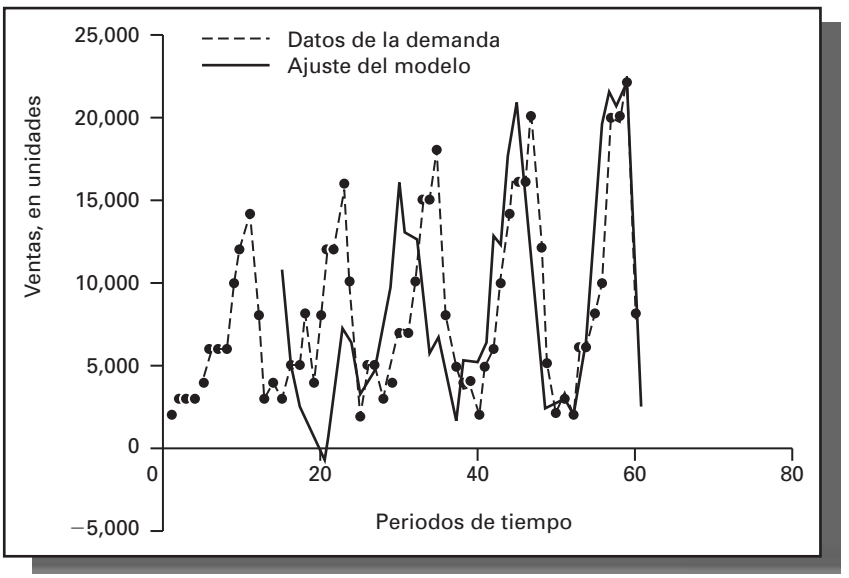
Monitoreo del error de pronóstico

Una de las ventajas más notables del uso del ajuste exponencial para el pronóstico de corto plazo es su capacidad de adaptarse a los patrones cambiantes en la serie de tiempo. Lo bien que el modelo mantenga su precisión se relaciona directamente con el valor de la constante de ajuste en cualquier punto en el tiempo. Por lo tanto, los procedimientos sofisticados de pronóstico implican el monitoreo del error de pronóstico y realizar ajustes en los valores de las constantes de ajuste. Si la serie de tiempo es estable, se seleccionarán valores relativamente bajos. Durante periodos de cambio rápido, se utilizarían valores altos. Al no estar limitado a valores sencillos, el error de pronóstico puede ser reducido, en especial cuando los patrones de demanda son dinámicos.

Un método popular para monitorear el error de pronóstico es mediante una señal de seguimiento. La señal de seguimiento es una comparación, por lo general una proporción, del error de pronóstico actual para un promedio de los errores de pronóstico pasados. Esta proporción puede ser evaluada en forma continua o periódica. Como resultado de este cálculo, las constantes de nivelación exponencial pueden ser recalculadas o especificadas de nuevo si la proporción excede un límite de control específico.

En general, los mejores valores de constantes de nivelación son los que minimizan el error de pronóstico en el tiempo para una serie de tiempo estable. El ajuste de estos valores, a medida que las características de la serie de tiempo cambian, ofrece mayor oportunidad para reducir el error de pronóstico. Los modelos de adaptación que permiten que las constantes de ajuste se revisen en forma continua se desempeñan bien cuando la serie de tiempo de la demanda está cambiando muy rápido, pero no parecen desempeñarse bien durante periodos estables. Por lo contrario, las constantes de ajuste revisadas para límites específicos ofrecen un buen desempeño durante los periodos de demanda estable y funcionan notablemente bien durante periodos de cambio rápido o repentino en las se-

Figura 8-4
Ejemplo del desempeño de un modelo de ajuste exponencial bien especificado.



ries.[7] Flowers sugirió valores óptimos para estas constantes de ajuste especificadas.[8] El desempeño de un modelo de ajuste exponencial bien definido deberá parecerse a los últimos periodos de la serie de tiempo mostrada en la figura 8-4.

Descomposición clásica de series de tiempo

Una categoría de modelos de pronóstico que ha resultado útil durante años es la descomposición de series de tiempo. Estos métodos incluyen el análisis espectral, el análisis clásico de series de tiempo, y el análisis de series de Fourier. Aquí se cubre el análisis de la descomposición de series de tiempo, principalmente debido a su simplicidad matemática y a su popularidad, además de que los métodos más elegantes no han mostrado mayor precisión.

El pronóstico clásico por descomposición de series de tiempo está construido sobre la filosofía de que un patrón de ventas históricas puede descomponerse en cuatro categorías: tendencia, variación estacional, variación cíclica y variación residual o aleatoria. La tendencia representa el movimiento a largo plazo de las ventas ocasionado por factores como cambios en la población, cambios en el desempeño de marketing de la empresa y cambios fundamentales en la aceptación del mercado de los productos y servicios de la empresa. La variación estacional se refiere a las cimas y valles regulares en la serie de tiempo que por lo general se repiten cada 12 meses. Las fuerzas que causan esta variación regular incluyen cambios climáticos, patrones de compra controlados por fechas del calendario y por la disponibilidad de los bienes. La variación cíclica son las ondulaciones de largo plazo (más de un año) en el patrón de demanda. La variación residual o aleatoria es

[7] A partir de experimentos de simulación por computadora, según lo informado por D. Clay Whybark, "A Comparison of Adaptive Forecasting Techniques", *Logistics and Transportation Review*, Vol. 8, Núm. 3 (1972), págs. 13-25.

[8] A. Dale Flowers, "A Simulation Study of Smoothing Constant Limits for an Adaptive Forecasting System", *Journal of Operations Management,* Vol. 1, Núm. 2 (noviembre de 1980), págs. 85-94.

la parte de las ventas totales que no es explicada por componentes de tendencia, estacionalidad o cíclicos. Si la serie de tiempo está bien descrita por los otros tres componentes, la variación residual deberá ser aleatoria.

El análisis clásico de series de tiempo combina cada tipo de la variación de ventas de la siguiente forma:

$$F = T \times S \times C \times R \quad \textbf{(8-12)}$$

donde

F = pronóstico de demanda (en unidades o en $)
T = nivel de tendencia (en unidades o en $)
S = índice de estacionalidad
C = índice cíclico
R = índice residual

En la práctica, el modelo con frecuencia se reduce sólo a los componentes de tendencia y de estacionalidad. Esto se hace porque un modelo bien especificado posee un valor del índice residual (R) de 1.0 y esto no afecta al pronóstico, y porque resulta difícil en muchos casos descomponer la variación cíclica a partir de la variación aleatoria. Tratar el índice cíclico (C) como igual a 1.0 no es tan grave como inicialmente podría parecer, porque el modelo se actualiza por lo regular cuando se dispone de nueva información. El efecto de la variación cíclica tiende a compensarse en el proceso de actualización.[9]

El valor de tendencia (T) en el modelo puede determinarse por varios métodos, como ajustar una línea "por simple vista", empleando alguna forma de promedio móvil, o utilizando el método de los mínimos cuadrados.

El método popular de los cuadrados mínimos es una técnica matemática que minimiza la suma de las diferencias cuadráticas entre la información real y la línea de tendencia propuesta. Se puede obtener una línea de mínimos cuadrados para toda forma de línea de tendencia, ya sea lineal o no lineal. La expresión matemática para una línea de tendencia lineal es $T = a + bt$, donde t es el tiempo, T es el nivel de demanda promedio, o tendencia, y a y b son coeficientes que se determinarán para la serie de tiempo en particular. Estos coeficientes se obtienen mediante

$$b = \frac{\sum D_t(t) - N(\bar{D})(\bar{t})}{\sum t^2 - N\bar{t}^2} \quad \textbf{(8-13)}$$

y

$$a = \bar{D} - b\bar{t} \quad \textbf{(8-14)}$$

donde

N = *el número de observaciones utilizadas en el desarrollo de la línea de tendencias*
D_t = *la demanda real en el tiempo t*
$\bar{D}$ = *demanda promedio para N periodos*
$\bar{t}$ = *promedio de t durante N periodos*

[9] El modelo en ocasiones se expresa en forma aditiva como $F = T + S + C + R$.

Las líneas de tendencia no lineales son matemáticamente más complejas y no se analizan aquí.[10]

El componente de estacionalidad del modelo está representado por un valor de índice que cambia para cada periodo que se pronostica. Este índice es una razón de la demanda real en un tiempo dado para la demanda promedio. La demanda promedio puede representarse por un solo promedio de la demanda real sobre un periodo especificado, por lo general de un año; un promedio móvil, o la línea de tendencia. Puesto que la línea de tendencia se analizó anteriormente, se utilizará como la base del índice de estacionalidad. Por ello,

$$S_t = D_t / T_t \tag{8-15}$$

donde

S_t = índice de estacionalidad en el tiempo t
T_t = valor de tendencia determinado a partir de $T = a + bt$

Por último, el pronóstico se realiza para el tiempo t en el futuro de la siguiente manera:

$$F_t = (T_t)(S_{t-L}) \tag{8-16}$$

donde

F_t = la demanda pronosticada en el tiempo t
L = número de periodos en el ciclo estacional

Estas ideas se ilustran mejor con un ejemplo.

Ejemplo

Un fabricante de ropa para jovencitas debe tomar decisiones de cantidad de compra y establecer programas de producción y logística con base en reservaciones del mercado (ventas). Se especificaron cinco estaciones del año para propósitos promocionales y de planeación: verano, transestacional, otoño, festividades y primavera. Se obtuvo información de las ventas para aproximadamente dos y medio años (ver tabla 8-2). Se requiere un pronóstico para dos estaciones por delante del periodo contable actual para asegurar las compras y el tiempo de espera de producción adecuados. En este caso, el periodo de pronóstico fue la temporada de festividades, incluso aunque las ventas para el periodo de otoño intermedio todavía no se conocían.

La primera tarea fue encontrar la línea de tendencia utilizando las ecuaciones (8-13) y (8-14). Asumiendo una tendencia de línea recta, el coeficiente b fue

$$b = \frac{1,218,217 - (12)(14,726.92)(6.5)}{650 - (12)(6.5)^2} = 486.13$$

y el coeficiente a como

$$a = 14,726.92 - 486.13(6.5)$$
$$= 11,567.08$$

[10] Un análisis de las líneas de tendencia no lineales se puede encontrar en John Neter, William Wasserman y Michael H. Kutner, *Applied Linear Regression Models* (Homewood, IL: Irwin, 1983), capítulo 14.

Periodo de ventas	Periodo de tiempo (t)	Ventas (D_t) ($000s) (2)	(3) $D_t \times t$	(4) t^2	Valor de tendencia (T_t)	Índice estacional = (2)/(5)	Pronóstico ($000s)
Verano	1	$ 9,458	9,458	1	$12,053	0.78	
Trans-temporada	2	11,542	23,084	4	12,539	0.92	
Otoño	3	14,489	43,467	9	13,025	1.11	
Festividades	4	15,754	63,016	16	13,512	1.17	
Primavera	5	17,269	86,345	25	13,998	1.23	
Verano	6	11,514	69,084	36	14,484	0.79	
Trans-temporada	7	12,623	88,361	49	14,970	0.84	
Otoño	8	16,086	128,688	64	15,456	1.04	
Festividades	9	18,098	162,882	81	15,942	1.14	
Primavera	10	21,030	210,300	100	16,428	1.28	
Verano	11	12,788	140,668	121	16,915	0.76	
Trans-temporada	12	16,072	192,864	144	17,401	0.92	
Otoño	13	?			17,887[a]		$18,602[b]
Festividades	14	?			18,373		20,945
Total	78	$176,723	1,218,217	650			

$N = 12$

$\sum D_t xt = 1,218,217$

$\sum t^2 = 650$

$\bar{D} = (176,723 / 12) = \$14,726.92$

$\bar{t} = (78 / 12) = 6.5$

[a] Valores pronosticados. Por ejemplo, $T_t = 11{,}567.08 + 486.13(13) = 17{,}887$.
[b] $F_{13} = T_{13} \times S_{13\text{-}5}$ or $18{,}602 = 17{,}887 \times 1.04$.

Tabla 8-2 Pronóstico de series de tiempo a partir de la información de ventas de un fabricante de ropa

Por lo tanto, la ecuación de tendencia fue

$$T_t = 11{,}567.08 + 486.13t$$

A partir de esta ecuación de línea de tendencia, los valores se proyectaron mediante sustitución en la ecuación anterior de cada valor de *t*; ver columna 5 de la tabla 8-2.

Los índices estacionales se calcularon según la ecuación (8-15) y se despliegan en la columna 6 de la tabla 8-2. Para propósitos de pronóstico, se utilizó la temporada disponible más reciente, principalmente debido a que los índices no varían mucho de un año a otro. Si este no fuera el caso, se habrían promediado los índices de varios años.

El pronóstico para la temporada de festividades (periodo 14) fue

$$Y_{14} = [11{,}567.08 + 486.13(14)] \times 1.14$$
$$= \$20{,}945 \text{ (en \$000s)}$$

El pronóstico para el periodo de otoño (periodo 13) se realizó en forma similar.

Análisis de regresión múltiple

En los modelos de pronóstico analizados hasta aquí, el tiempo es la única variable que se ha considerado. En la medida que otras variables muestran una relación con la demanda, éstas también pueden incluirse en un modelo para pronosticar las ventas. El análisis de regresión múltiple es una técnica estadística que ayuda a determinar el grado de asociación entre un número de variables seleccionadas y la demanda. A partir de este análisis, se desarrolla un modelo que puede utilizar más de una variable para predecir la demanda futura. La información sobre las variables de predicción (independientes) luego se convierte mediante la ecuación de regresión para proporcionar un pronóstico de demanda.

Ejemplo

Reconsidere el problema del fabricante de ropa analizado anteriormente. Un método alternativo para pronosticar sobre el intervalo de dos estaciones fue el uso de un modelo de regresión, de preferencia donde las variables independientes "dirigieran" la variable de demanda en el tiempo. Esto permitió que se obtuviera información sobre las variables independientes con anticipación del periodo de pronóstico. Se desarrolló una ecuación de estas para la temporada de ventas de verano:

$$F = -3{,}016 + 1{,}211X_1 + 5.75X_2 + 109X_3 \qquad \textbf{(8-17)}$$

donde

F = ventas promedio estimadas de verano (en miles de dólares)
X_1 = tiempo en años (1991 = 1)
X_2 = número de cuentas de compras durante la temporada (a partir de las reservaciones anticipadas)
X_3 = cambio neto mensual en la deuda a plazos de los consumidores (porcentaje)

El modelo fue 99% ($R^2 = 0.99$) de la variación total en la demanda, y el nivel de 5% fue estadísticamente significativo. La ecuación estimó una predicción precisa de la demanda. Por ejemplo, las ventas reales para la temporada de verano de 1996 fueron $20'750,000. Las entradas del modelo para 1996 fueron $X_1 = 6$, $X_2 = 2{,}732$ y $X_3 = 8.63$, y cuando se sustituyeron en la ecuación (8-17), se obtuvo un pronóstico de ventas de $20.9 millones o $20'900,000.

Aunque se requiere conocimiento razonable de la metodología estadística para construir tal modelo, hay software para computadora, como SPSS[11] y BMDP,[12] para realizar análisis de regresión, disponibles fácilmente tanto para microcomputadoras como para computadoras centrales. Estos programas realizan los cálculos necesarios para ajustar una línea ordinaria de mínimos cuadrados a la información y para proporcionar información estadística para evaluar el ajuste. Sin embargo, deberá tenerse cuidado en el uso de estos paquetes estadísticos, ya que por sí mismos no pueden garantizar un modelo válido que se encuentre libre de problemas estadísticos y de especificaciones.[13]

[11] Un producto de SPSS, Inc., 444 N. Michigan Ave., Chicago, IL.
[12] Un producto de BMDP Statistical Software, 1964 Westwood Blvd., Los Ángeles, CA.
[13] Para un análisis de estos problemas, véase Marija J. Norusis, SPSS/PC+ (Chicago: SPSS, Inc., 1986), cap. 17; y Neter, Wasserman y Kutner, *Applied Linear Regression Models*, *op. cit*.

Problemas especiales de predicción para los responsables de la logística

En ocasiones se encuentran problemas especiales al tratar de predecir los requerimientos. Estas áreas de problemas son el arranque, la demanda irregular, el pronóstico regional y el error de pronóstico. Aunque no todos estos problemas son únicos para la logística, son de gran preocupación para el responsable de ella al determinar los requerimientos en forma precisa.

Arranque

El responsable de la logística con frecuencia enfrenta el problema de predecir los niveles de requerimientos para los productos y servicios para los que no existe suficiente historia para iniciar el proceso de pronóstico. La introducción de nuevos productos o servicios y la necesidad de proporcionar apoyo logístico para ellos crean las condiciones de arranque comunes. Se han utilizado distintos enfoques durante este periodo temprano de pronóstico.

Primero, ponga la estimación inicial en manos del personal de marketing hasta que se comience a desarrollar un historial de ventas. Ellos conocerán mejor el nivel de esfuerzo promocional, la respuesta temprana del cliente y la aceptación esperada del cliente. Una vez que se haya generado una historia de demanda razonable, digamos en seis meses, se podrán utilizar los métodos establecidos de pronóstico con cierta confianza.

Segundo, se podría hacer un estimado a partir del patrón de demanda de productos similares dentro de la línea. Aunque muchas compañías rotan su línea de productos en promedio una vez cada cinco años, algunos productos son radicalmente nuevos. Con frecuencia representan cambios en tamaño, estilo o se trata de una revisión de los productos existentes. Por tanto, los patrones de demanda experimentados con anterioridad podrán proporcionar una perspectiva y una base para la estimación inicial de la demanda para los nuevos productos.

Tercero, si el modelo de nivelación exponencial se utiliza para pronosticar, la constante de ajuste exponencial se puede fijar en un nivel alto (0.5 o mayor) durante el periodo inicial de pronóstico. Luego se reducirá a un nivel normal una vez que se haya generado un historial de demanda adecuado.

Demanda irregular

El problema de la demanda irregular se ha descrito anteriormente y se ilustró en la figura 8-2. Representa la condición donde existe tanta variación aleatoria en el patrón de demanda que puede opacar para los patrones de tendencia y estacionalidad. La condición de demanda irregular se presenta cuando dos o tres veces la desviación estándar de la información histórica excede el pronóstico del mejor modelo que puede ajustarse a la serie de tiempo. El patrón de demanda irregular se presenta con frecuencia debido a varios motivos: el patrón de demanda está dominado por grandes y esporádicos pedidos del cliente; la demanda puede derivarse de la demanda de otros productos o servicios; el pico estacional no se ha tomado en cuenta; o el patrón de demanda pudiera ser resultado de información excepcional, personas externas o condiciones poco comunes.

Los patrones de demanda irregular por naturaleza son difíciles de predecir con exactitud por métodos matemáticos, debido a la amplia variabilidad en la serie de tiempo; sin embargo, se pueden ofrecer algunas sugerencias acerca de cómo tratarlos. Primero, busque motivos evidentes para la irregularidad y utilícelos para generar el pronóstico. Sepa-

re el pronóstico de los productos con demanda irregular de los que muestran un patrón regular y utilice métodos de pronóstico adecuados para cada uno.

Ejemplo

Un fabricante de químicos tiene un producto en su línea que se utiliza para limpiar manzanas al momento de la cosecha. Dependiendo del tamaño del cultivo de manzanas, las ventas del producto pueden variar de manera considerable cada año. Se utilizó ajuste exponencial para pronosticar éste y otros productos en la línea. Los niveles de inventario en los almacenes que se establecieron con base en este pronóstico por lo general se quedaban cortos o con un gran excedente de las necesidades razonables. Al agrupar este producto de demanda irregular con los que tenían patrones de demanda regular no permitía a la compañía tomar ventaja de los motivos básicos por los que el nivel de demanda cambiaba a lo largo del año.

Segundo, no reaccione en forma rápida a los cambios en el patrón de demanda para tales productos o servicios si no se han podido encontrar causas atribuibles para los desplazamientos de demanda. En vez de ello, utilice un método de pronóstico simple y estable que no reaccione rápido ante el cambio, como el modelo de ajuste exponencial con un valor bajo de constante de nivelación o un método de regresión que se reajuste con una frecuencia no menor a una base anual.

Tercero, debido a que la demanda irregular con frecuencia se presenta en artículos de baja demanda, la exactitud del pronóstico puede no ser un asunto demasiado relevante. Si el pronóstico se utiliza para establecer niveles de inventario, manejar un poco más de inventario para compensar la inexactitud del pronóstico puede resultar más económico que tratar de manejar el pronóstico de manera cuidadosa.

Pronóstico regional

Aunque la mayor parte del análisis en este capítulo se ha dirigido al pronóstico de la demanda relativa al tiempo, también se ha considerado la agrupación o desagrupación geográfica del pronóstico. Es decir, el responsable de la logística debe decidir si toma un pronóstico de la demanda total y la distribuye proporcionalmente por regiones, por ejemplo, por territorios de almacenes o plantas, o si pronostica cada región en forma independiente. La cuestión es lograr la mayor precisión en el pronóstico a nivel regional. Pronosticar todas las demandas en forma simultánea con frecuencia será más exacto que la suma de los pronósticos regionales individuales. Si esto es así, la distribución proporcional del pronóstico en conjunto con las regiones individuales pudiera preservar suficiente precisión como para dar mejores resultados que el pronóstico individual. Las investigaciones sobre el tema no han proporcionado una respuesta definitiva sobre cuál método es mejor. Por ello, los responsables de la logística deberán estar conscientes de ambas posibilidades y comparar los métodos para su situación particular.

Error de pronóstico

La última consideración es aprovechar al máximo las técnicas de pronóstico disponibles. El análisis hasta este punto se ha centrado en el uso de modelos y métodos individuales. En

la práctica, ningún modelo de pronóstico individual puede ser el mejor en toda ocasión. En vez de ello, la combinación de los resultados de varios modelos puede generar pronósticos más estables y precisos.[14]

El siguiente ejemplo muestra la combinación de múltiples métodos de pronóstico de acuerdo con su error de pronóstico. Esto por lo general funciona bien para pronósticos de largo plazo. Para pronósticos de corto plazo, pronósticos igualmente ponderados han demostrado ser en particular fuertes, y ofrecen mayor precisión de pronóstico que los ponderados en forma desigual.[15]

Ejemplo

Reconsidere el problema de pronóstico del fabricante de ropa. Debido a que existían cinco estaciones para ventas, no había garantía de que un método de pronóstico fuera consistentemente superior a través de todas las estaciones. De hecho, se utilizaron cuatro métodos. Había un modelo de regresión *(R)* que predecía las ventas con base en las dos variables: 1) número de cuentas, y 2) el cambio en la deuda del consumidor. Se utilizaron dos versiones *(ES_1, ES_2)* de un modelo de ajuste exponencial. El cuarto modelo fue el pronóstico interno de la compañía basado en el juicio y la experiencia directiva *(MJ).* El error de pronóstico promedio obtenido mediante el uso de cada método durante las distintas temporadas de ventas se muestra en la figura 8-5.

Una forma de combinar la información de cada modelo de pronóstico es ponderar los resultados de acuerdo con el error histórico promedio que produjeron. De esta forma, ningún resultado de modelo será eliminado ni existirá completa dependencia en el resultado de modelo que pareció mejor en forma histórica.

Para ilustrar este esquema de ponderación, considere los resultados de la temporada de venta de otoño mostrados en la figura 8-5. El error promedio para cada modelo fue *MJ* = 9.0%, *R* = 0.7%, Es_1 = 1.2% y ES_2 = 8.4%. Los pesos deberán ser inversamente proporcionales al error de pronóstico y en la misma proporción a sus respectivos porcentajes. La tabla 8-3 muestra el cálculo de los factores de ponderación.

Por último, dados los resultados de pronóstico de cada modelo y los factores de ponderación, se puede calcular un pronóstico ponderado promedio, como el mostrado en la figura 8-4. El valor de pronóstico final para la estación de ventas de otoño es $20'208,000 y representa datos provenientes de un número de fuentes de pronóstico.

Un método del sistema experto para combinar métodos de pronóstico ha mostrado prometedores resultados, en especial para periodos de pronóstico de corto plazo menores a un año. Conocido como pronóstico basado en reglas, se combinan varios métodos de se-

[14] M. J. Lawrence, R. H. Edmundson, M. J. O'Connor, "The Accuracy of Combining Judgemental and Statistical Forecasts", *Management Science*, Vol. 32, Núm. 12 (diciembre de 1986), págs. 1521-1532; Essam Mahmoud, "Accuracy in Forecasting: A Survey", *Journal of Forecasting* (abril-junio de 1984), pág. 139; Spyros Makridakis, Robert L. Winkler, "Average of Forecasts: Some Empirical Results", *Management Science* (septiembre de 1983), pág. 987; Victor Zarnowitz, "The Accuracy of Individual and Group Forecasts from Business Outlook Surveys", *Journal of Forecasting* (enero-marzo de 1984), pág. 10.

[15] Fred Collopy y J. Scott Armstrong, "Rule-Based Forecasting: Development and Validation of an Expert Systems. Approach to Combining Time Series Extrapolations", *Management Science*, Vol. 38, Núm. 10 (1992), págs. 1394-1414.

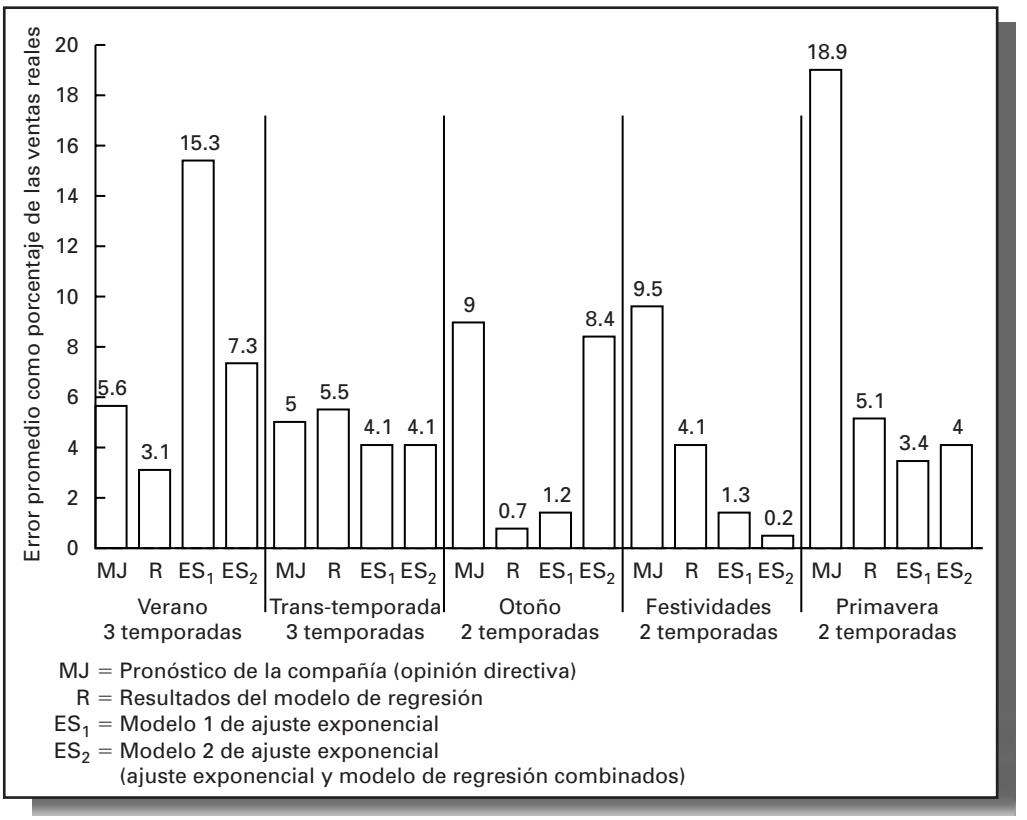


Figura 8-5 Error de pronóstico para cuatro técnicas de pronóstico aplicado a las ventas de un fabricante de ropa.

Tabla 8-3 Cálculo de los pesos del modelo

Tipo de modelo	(1) Error del pronóstico	(2) = (1)/19.3 Proporción del error total	(3) = 1/(2) Inverso de la proporción del error	(4) = (3)/48.09 Pesos del modelo
MJ	9.0	0.466	2.15	0.04
R	0.7	0.036	27.77	0.58
ES_1	1.2	0.063	15.87	0.33
ES_2	8.4	0.435	2.30	0.05
	19.3	1.000	48.09	1.00

Tipo de pronóstico	Pronóstico del modelo	Factor de ponderación[a]	Proporción ponderada[b]
Modelo de regresión (*R*)	$20,367,000	0.58	$11,813,000
Nivelación exponencial ($ES_{1)}$	20,400,000	0.33	6,732,000
Modelo combinado de ajuste exponencial-regresión ($ES_{2)}$	17,660,000	0.05	883,000
Opinión directiva *(MJ)*	19,500,000	0.04	780,000
Pronóstico de promedio ponderado			$20,208,000

[a] De la tabla 8-3.
[b] Pronóstico de modelo multiplicado por el factor de ponderación.

Tabla 8-4 Pronóstico de promedio ponderado de la temporada de venta de otoño utilizando varias técnicas de pronóstico.

ries de tiempo y se aplican reglas deducidas por expertos de pronósticos a los datos de entrada y a la aplicación del modelo. Las reglas son distintas declaraciones del tipo SI-ENTONCES que guían las acciones para mejorar el pronóstico. Collopy y Armstrong desarrollaron 99 reglas de ese tipo, algunos ejemplos de las cuales son:

- SI la observación es externa, ENTONCES establezca la observación igual a dos desviaciones estándar con respecto a la media.
- Para un modelo de ajuste exponencial, SI alfa (constante se suavización) se calcula mayor que 0.7, ENTONCES utilice 0.7. SI alfa es menor que 0.2, ENTONCES utilice 0.2.
- SI la información temprana es irrelevante, ENTONCES elimine esa información.
- SI las observaciones se juzgan irregulares con base en el conocimiento de la aplicación, ENTONCES ajuste las observaciones anteriores al análisis para eliminar sus efectos de corto plazo.[16]

Al aplicar estas y otras reglas a múltiples métodos de pronóstico, como el recorrido aleatorio (utilizando la observación más reciente), la nivelación exponencial y la regresión, se puede obtener una importante reducción en el error de pronóstico. Esto es especialmente válido cuando las series de tiempo muestran tendencias importantes, baja incertidumbre y estabilidad, y si quien pronostica tiene adecuado conocimiento de la aplicación. Cada uno de los métodos se pondera en forma equivalente.

Pronósticos de colaboración

Los métodos de pronóstico que se han ilustrado hasta este punto funcionan mejor cuando la demanda no muestra mucha variabilidad. Sin embargo, la demanda irregular, con alta incertidumbre y dinámica, ocasionada por factores como promociones, pocos compradores que adquieren en grandes cantidades, compras estacionales/cíclicas, y demanda creada por "desastres naturales" crean un problema especial. Aunque se han ofrecido algunos lineamientos para manejar el caso de la demanda irregular, el pronóstico de cola-

[16] Íbid.

boración se recomienda como un método mejorado, especial para la planeación de canal de los procesos de negocio. Está basado en la premisa de que "dos cabezas son mejor que una". Es decir, es más probable que múltiples métodos produzcan pronósticos más precisos que uno solo.

El pronóstico de colaboración se refiere al desarrollo de pronósticos utilizando las entradas de múltiples participantes, ya sea que ellos provengan de distintas áreas funcionales dentro de una misma empresa (marketing, operaciones, logística, finanzas, compras, etcétera) o de distintos miembros en un canal de suministros, como vendedores, transportistas y compradores. El objetivo es reducir el error de pronóstico. Esto puede lograrse mejor cuando cada parte aporta una perspectiva única al proceso de pronóstico. Los compradores o el personal de marketing pueden encontrarse más cercanos al consumidor final y pueden tener mejor "sensibilidad" de la demanda final. Por otro lado, los vendedores o el personal de compras pueden ser coordinados para suministrar en desabastos y limitación de capacidad que puedan presentar un tope sobre la demanda o que en última instancia puedan afectar el precio del producto, que a su vez afecta el precio y los niveles de demanda del producto. El personal de transporte o los transportistas pueden ser capaces de predecir los tiempos de entrega que afectan el servicio al cliente y las ventas.

El pronóstico mediante la colaboración requiere manejar un equipo de diversas personas con todas las complicaciones inherentes a tal proceso. Sin embargo, pueden identificarse los pasos clave administrativos, muchos de los cuales se enumeran aquí:

- Alguien debe ser líder del proceso y proporcionar la comunicación necesaria y los calendarios de juntas del grupo.
- Deberán identificarse los tipos de información necesaria para el pronóstico, así como los procesos para obtenerla, incluyendo el momento, las cantidades y la(s) persona(s) responsables.
- Deberán establecerse métodos para procesar la información de múltiples fuentes, tipos y formatos, así como las ponderaciones que se utilizarán para combinar y reconciliar los pronósticos de las múltiples partes.
- Se requieren métodos para traducir el pronóstico final en la forma que la necesita cada parte, como ventas, envíos y SKUs en total, y por cliente, cuenta, territorio de servicio, etcétera.
- Deberá disponerse de un proceso para revisar y actualizar el pronóstico sobre una base de tiempo real.
- Deberán establecerse medidas para evaluar el pronóstico y para determinar si el pronóstico de colaboración representa una mejora por encima de los métodos tradicionales.
- Los beneficios para cada parte del pronóstico de colaboración deberán ser obvios y reales.

El pronóstico de colaboración es un proceso complejo inherentemente inestable, es decir, el pronóstico siempre tendrá la tendencia de regresar a los miembros individuales que realizan sus propias predicciones. La colaboración eficaz requiere coparticipación, coordinación, compromiso y entendimiento de que no es fácil de lograr. Sin embargo, los beneficios de un pronóstico más preciso en las situaciones de pronóstico más difíciles, así como los beneficios de una mejor comunicación intrafuncional y entre organización bien pueden justificar el esfuerzo extra requerido para operar en una alianza.

Aplicaciones

A pesar de que el software de apoyo para el pronóstico de colaboración es nuevo y bajo constante revisión, varias compañías notables han informado éxito adelantado a medida que experimentan con el método del pronóstico de colaboración. Heineken USA (la cervecera) ha pedido a 100 de sus distribuidores independientes de cerveza que envíen pronósticos en forma electrónica a Heineken USA White Plains, en Nueva York, oficina que utiliza un software de terceros. Implicando cerca de 40% del volumen total de Heineken, esta disposición recortó los tiempos del ciclo de pedidos de 12 semanas a sólo cuatro o cinco.[17]

Ace Hardware, detallista de equipo de $2,800 millones, experimentó con el pronóstico conjunto para reabastecimiento con Manco, proveedor de cintas, pegamentos y adhesivos. Mediante un software basado en la Web, Manco obtuvo acceso a la base de datos de Ace. Ace presentó a Manco su pronóstico para los artículos a través de la pantalla de un navegador de Web, pero Manco tiene la oportunidad de modificar el pronóstico antes de llevarlo a su sistema de planeación de la producción. Ace y Manco observan las mismas pantallas en tiempo real e intercambian mensajes antes de llegar a un consenso del pronóstico. La exactitud del pronóstico se revisa sobre una base mensual. En lo pasado, la precisión del pronóstico era de 20% por encima o por debajo de la demanda real. Ahora, es menor de 10 por ciento.[18]

Flexibilidad y rápida respuesta: una alternativa para el pronóstico

Las ventas de algunos productos o servicios son tan impredecibles que el uso de los tipos de métodos de pronóstico ya descritos da por resultado una posibilidad tan alta de error de pronóstico que los hace imprácticos. Los patrones de demanda irregular son un ejemplo, y por ello se requiere una alternativa. Al reconocer que no existe un mejor pronóstico sino que esperar hasta que la demanda del cliente se materialice, es una base para responder en forma precisa a la demanda. Si los procesos de la cadena de suministros pueden hacerse flexibles y que respondan rápidamente a los requerimientos de demanda, tendremos poca necesidad de pronósticos. Después de todo, los pronósticos estadísticos suponen las propiedades comunes de que las observaciones en las series de tiempo sean aleatorias, independientes y que cada observación sea una parte pequeña del total. Cuando existe un desfase de tiempo en que el suministro cubre la demanda, los pronósticos funcionan para establecer los niveles de producción, compras e inventarios, de manera que el suministro esté disponible cuando la demanda se presente. Modificar la naturaleza de la cadena de suministros para que los procesos puedan responder en forma flexible y eficiente a los requerimientos específicos de cada solicitud del cliente, y que esto se haga de manera casi instantánea, hace que los pronósticos sean innecesarios. Cuando la demanda es muy impredecible, deberá estu-

[17] John Verity, "Collaborative Forecasting: Vision Quest", *Computerworld Commerce*, Vol. 31, Núm. 45 (noviembre de 1997), págs. 12-14.
[18] James A. Cooke, "Why ACE is Becoming THE PLACE", *Logistics Management & Distribution Report*, Vol. 41, Núm. 3 (marzo de 2002), págs. 32-36.

diarse este método alternativo. Sin embargo, en muchos casos, cuando la demanda es "regular", suministrar una demanda pronosticada sigue siendo la opción preferida.

Ejemplo

National Bicycle observó que las bicicletas deportivas (de diez velocidades y de montaña) se habían convertido en artículos de moda, que se vendían en parte debido a sus patrones de colores brillantes y complejos que cambiaban cada año. La incapacidad de National para predecir los patrones de color que estarían en auge cada año le ocasionaba que se produjeran en exceso algunos colores y en déficit otros, generando grandes pérdidas. Para superar este problema de pronóstico, la compañía creó un sistema de pedidos a la medida por medio del cual se medía a los clientes para saber sus dimensiones de estructura ideales y les invitaban a escoger su patrón de color favorito de una amplia selección. Su bicicleta ideal entonces se fabricaba en la planta altamente flexible de la compañía en Kashiwara y se entregaba a su puerta dos semanas después.[19]

Comentarios finales

El responsable de logística con frecuencia requiere proporcionar sus propios pronósticos de demanda, tiempo de espera, precios y costos, para utilizarlos en la planeación y control estratégico y operativo. Muchas veces, los pronósticos de largo plazo necesarios son proporcionados fuera de la función logística o sólo son parcialmente responsabilidad del encargado de esta área. Esto es particularmente cierto para la planeación estratégica. Por ello, este capítulo se ha enfocado en los métodos de pronóstico de corto y mediano plazo que con mayor probabilidad utilizará el responsable de la logística. Dentro de este periodo se analizaron las técnicas que han demostrado la mayor utilidad: ajuste exponencial, descomposición clásica de series de tiempo y regresión múltiple.

Brevemente se analizaron varios problemas especiales de la generación de un pronóstico. Estos incluyeron arrancar el pronóstico con poca o sin ninguna información previa sobre la serie de tiempo; tratar con patrones de series de tiempo irregulares; pronosticar la demanda dentro de segmentos geográficos; y utilizar modelos de pronóstico en combinación para reducir el error de pronóstico.

El gerente de logística también debe estar consciente de una alternativa para el pronóstico que pueda requerirse cuando la demanda sea tan impredecible que los resultados del pronóstico no sean satisfactorios. Al diseñar la cadena de suministros para una flexibilidad y rápida respuesta, el suministro puede cubrir la demanda a medida que ésta se presenta, con lo cual no se necesitarían los pronósticos.

Preguntas

Varios de los problemas de este capítulo pueden resolverse, o al menos en forma parcial, con la ayuda de software de computadora. El paquete de software más popular en este capítulo es

[19] Marshall L. Fisher, Janice H. Hammond, Walter R. Obermeyer, Ananth Raman, "Making Supply Meet Demand in an Uncertain World", *Harvard Business Review,* Vol. 72 (mayo-junio 1994), págs. 83-89 en adelante.

FORECAST (*F*) de LOGWARE. El ícono de CD aparecerá donde el software FORECAST sea adecuado. Se ha preparado una base de datos para el caso de estudio de World Oil.[20]

1. ¿Por qué y hasta qué punto está el responsable de la logística interesado en el pronóstico de la demanda? ¿Cómo cree usted que el interés podría ser diferente si el responsable de la logística estuviera relacionado con
   a. un fabricante de alimentos?
   b. un productor de aviones?
   c. una gran cadena de menudeo?
   d. un hospital?
2. Dé ejemplos de
   a. demanda espacial y demanda temporal.
   b. demanda irregular y demanda regular.
   c. demanda derivada y demanda independiente.
3. Contraste los modelos cualitativos, de proyección histórica y causales para los pronósticos. ¿Qué fortalezas identifica en cada tipo? ¿Cómo podría utilizar cada uno el responsable de la logística? Clasifique los modelos de la tabla 8-1 en estos tres tipos básicos.
4. La compañía ACE Trucking debe determinar el número de conductores y camiones que tiene disponibles sobre una base semanal. El programa estándar es enviar a los conductores sobre la ruta de recolección y entrega el lunes y regresarlos al punto original el viernes. Los requerimientos de camiones pueden determinarse a partir del volumen total que se desplazará para la semana; sin embargo, ellos deben conocerse con una semana de anticipación para propósitos de planeación. El volumen para las últimas diez semanas se da a continuación:

Semana	Volumen	Semana	Volumen
10 semanas atrás	2,056,000	5 semanas atrás	2,268,000
9	2,349,000	4	2,653,000
8	1,895,000	3	2,039,000
7	1,514,000	2	2,399,000
6	1,194,000	1 (esta semana)	2,508,000

   a. Utilizando el modelo de nivelación exponencial más simple (sólo nivel), haga una predicción sobre el volumen esperado para la siguiente semana. [*Nota:* Necesitará estimar una constante de ajuste exponencial (α) que minimizará el error de pronóstico. Utilice las cuatro semanas más antiguas de información para iniciar el proceso de pronóstico, es decir, encuentre F_0, y busque α en incrementos de 0.1.]
   b. Estime el error de pronóstico (S_F). Utilice los últimos seis periodos semanales.
   c. Encuentre el rango sobre el cual es más probable que el volumen real varíe. (*Sugerencia:* Aquí deberá calcular un intervalo de confianza estadística. Suponga un intervalo de confianza de 95 porciento y una distribución normal de los requerimientos).

[20] Se ha preparado una base de datos para este caso de estudio en LOGWARE.

5. Suponga que la información del problema 4 fuera:

Semana	Volumen	Semana	Volumen
10 semanas atrás	1,567,000	5 semanas atrás	2,056,000
9	1,709,000	4	2,088,000
8	1,651,000	3	1,970,000
7	1,778,000	2	1,925,000
6	1,897,000	1 (esta semana)	2,003,000

   a. Utilizando la versión de tendencia corregida del modelo de nivelación exponencial, con $\alpha = \beta = 0.2$, pronostique el volumen de la siguiente semana.
   b. Estime el error en el pronóstico anterior (S_F). Utilice los últimos seis periodos semanales.
   c. Construya un intervalo de confianza de 95% sobre el pronóstico suponiendo una distribución normal de los requerimientos.

6. La compañía High-Volt Electric tiene dificultades para predecir las ventas trimestrales para su línea de aire acondicionado para habitaciones, debido a la sustancial estacionalidad en la venta del producto.

   La información de ventas trimestrales para los últimos tres años se muestra a continuación:

HACE UN AÑO		HACE DOS AÑOS		HACE TRES AÑOS	
Trimestre	Unidades	Trimestre	Unidades	Trimestre	Unidades
1	34,000	1	30,000	1	27,000
2	82,000	2	73,000	2	70,000
3	51,000	3	48,000	3	41,000
4	16,000	4	15,000	4	13,000

   a. Determine la mejor tendencia de línea recta utilizando análisis de regresión simple.
   b. Determine los índices estacionales para cada trimestre utilizando los valores de línea de tendencia en sus cálculos de índices estacionales.
   c. Mediante la descomposición clásica de series de tiempo, pronostique las ventas para los siguientes cuatro trimestres.

7. El gerente de materiales de Metropolitan Hospitals debe planear los inventarios en tres ubicaciones de hospitales dentro de la región. Su plan es asignar inventario a estas ubicaciones. Resulta necesario predecir las ventas para tener una base para asignar el inventario. El gerente se pregunta si sería más preciso generar un pronóstico para cada hospital o generar un pronóstico a partir de la información agregada y distribuirlo en forma proporcional a cada región (cuanto más preciso sea el pronóstico para cada región, menores serán los inventarios).

   Para validar la idea, el gerente armó la siguiente información de utilización mensual para una jeringa particular durante el año pasado:

	Región 1	Región 2	Región 3	Combinado
Enero	236	421	319	976
Febrero	216	407	295	918
Marzo	197	394	305	896

Abril	247	389	287	923
Mayo	256	403	300	959
Junio	221	410	295	926
Julio	204	427	290	921
Agosto	200	386	285	871
Septiembre	185	375	280	840
Octubre	199	389	293	881
Noviembre	214	401	305	920
Diciembre	257	446	337	1,040
Total	2,632	4,848	3,591	11,071

Si el gerente utilizara el ajuste exponencial simple (sólo nivel) con $\alpha = 0.2$, ¿cuál método debería utilizar? ¿Por qué? [*Tip:* Encuentre el pronóstico inicial (F_0) promediando los primeros cuatro valores en cada serie. Además, recuerde la ley de la varianza, donde $S_T^2 = S_{E_1}^2 + S_{E_2}^2 + S_{E_3}^2$ y compare los errores totales del pronóstico.]

8. Un fabricante tejano de tuberías de concreto y de otros productos de concreto prefabricados para autopistas, granjas y construcción comercial deseaba proyectar las ventas para mejorar las operaciones de planeación de la producción y la logística. Se consideró que muchas variables afectaban las ventas, como: tiempo, población, inicios de urbanización, empleo en la construcción, número de unidades residenciales, proyecciones de presupuestos para autopistas, número de granjas, permisos de construcción de estructuras comerciales y número de empresas competidoras en el estado. Un análisis de regresión múltiple mostró tres variables clave para la proyección de las ventas: población, empleo en la construcción y permisos de construcción del año anterior.
   a. ¿Cree usted que existe una relación de causa y efecto entre estas variables y las ventas de la compañía?
   b. ¿Existen otras variables importantes que deberían considerarse y que no se encontraban en la lista original?
9. La agente de compras de un hospital ha reunido información de los últimos cinco años sobre los precios unitarios mensuales promedio para un artículo quirúrgico de frecuente uso.

	Año pasado	Hace 2 años	Hace 3 años	Hace 4 años	Hace 5 años
Ene.	210	215	211	187	201
Feb.	223	225	210	196	205
Mar.	204	230	214	195	235
Abr.	244	214	208	246	243
May.	274	276	276	266	250
Jun.	246	261	269	228	234
Jul.	237	250	265	257	256
Ago.	267	248	253	233	231
Sep.	212	229	244	227	229
Oct.	211	221	202	188	185
Nov.	188	209	221	195	187
Dic.	188	214	210	191	189
Total	2,704	2,792	2,783	2,609	2,645

Ella cree que un pronóstico preciso del precio le ayudaría a mejorar la oportunidad de sus compras. Utilizando el más antiguo de los cuatro años de información como datos base, y guardando la información más reciente (último año) para verificar la precisión del pronóstico, realice lo siguiente:

a. Grafique la información. ¿Qué observaciones importantes puede hacer acerca de la información que serían útiles para el pronóstico?
b. Construya un modelo de pronóstico de descomposición clásica de series de tiempo basado en la información de dos años (años 2 y 3) y calcule el error del pronóstico (S_F) para el último año completo. *Sugerencia*: Utilice

$$S_F = \sqrt{\frac{\Sigma(A_t - F_t)^2}{N - 2}}$$

c. Construya un modelo de ajuste exponencial ($\alpha = 0.14$, $\beta = 0.01$ y $\gamma = 0.7$) con componentes de nivel, tendencia y estacionalidad, y calcule S_F para el último año.
d. Desarrolle un modelo ponderado promedio que combine ambos tipos de modelos.

10. Hudson Paper Company es un pequeño negocio familiar que adquiere papel en rollos de grandes fábricas. Luego lo corta y lo imprime en una variedad de productos, como bolsas y papel de envoltura, según el pedido del cliente. La estacionalidad de las ventas ha hecho que el pronóstico sea un problema particularmente difícil, en especial por el momento exacto de los picos estacionales. La dirección de la empresa desea desarrollar un modelo de pronóstico de ajuste exponencial que ayude al pronóstico de las ventas. El modelo deberá ser el que minimice el error de pronóstico.
    a. Con base en la siguiente información de ventas de producto agregadas que se ha reunido durante los últimos cinco años, ¿qué tipo de modelo de pronóstico y valores de constante de nivelación recomendaría?

	VENTAS, ROLLOS				
Mes	2003	2002	2000	1999	1998
Ene.	7,000	8,000	7,000	10,000	10,000
Feb.	8,000	9,000	10,000	9,000	7,000
Mar.	8,000	8,000	10,000	9,000	8,000
Abr.	8,000	10,000	8,000	7,000	7,000
May.	9,000	10,000	9,000	10,000	11,000
Jun.	11,000	13,000	12,000	11,000	11,000
Jul.	11,000	9,000	12,000	15,000	13,000
Ago.	11,000	13,000	15,000	19,000	15,000
Sep.	15,000	17,000	20,000	21,000	25,000
Oct.	17,000	17,000	20,000	21,000	25,000
Nov.	19,000	21,000	23,000	25,000	27,000
Dic.	13,000	15,000	13,000	17,000	13,000
Total	137,000	150,000	159,000	174,000	172,000

    b. ¿Cuál es su pronóstico para enero del 2004?
    c. Construya un intervalo de confianza de 95% sobre el pronóstico del inciso (b).

11. Un distribuidor de acero corta hojas de acero de bobinas suministradas por grandes fábricas. Un pronóstico exacto de la utilización de las bobinas podría ser muy útil para contro-

lar los inventarios de materia prima. Del precio de ventas, 80% es el costo de los materiales adquiridos. Aunque la determinación de las cantidades de adquisición implica muchas consideraciones, un promedio móvil de tres meses se utiliza para proyectar la tasa de utilización del mes siguiente. Las tasas actuales de utilización de bobinas en libras para dos productos se proporcionan en la siguiente tabla:

	BOBINA A569 CQ P&O			BOBINA A366 CQ CR		
	Hace dos años	Año pasado	Este año	Hace dos años	Año pasado	Este año
Ene.	206,807	304,580	341,786	794,004	735,663	633,160
Feb.	131,075	293,434	521,878	703,091	590,202	542,897
Mar.	124,357	273,725	179,878	757,610	601,401	692,376
Abr.	149,454	210,626	226,130	499,022	529,784	703,151
May.	169,799	150,587	177,400	445,703	672,040	917,967
Jun.	216,843	289,621	182,109	483,058	450,735	532,171
Jul.	288,965	168,590	123,957	446,770	567,928	654,445
Ago.	219,018	171,470	54,074	806,204	549,355	546,480
Sep.	65,885	209,351	136,795	646,300	481,355	472,664
Oct.	179,739	203,466		470,551	419,846	
Nov.	251,969	145,866		682,611	612,346	
Dic.	205,806	203,742		606,968	447,021	

a. ¿Un modelo de nivelación exponencial proporcionará pronósticos equivalentes con el promedio móvil de tres meses? Si es así, ¿qué tipo de modelo y constantes de ajuste recomendaría?
b. ¿Cuál es su pronóstico de utilización para octubre de este año?
c. Si la utilización real de octubre para A569 es 369,828 libras (168 tons) y para A366 es 677,649 libras (307.5 tons), ¿cómo entiende la diferencia con respecto de sus pronósticos para estos artículos?

ESTUDIO DE CASO

World Oil

World Oil es un refinador y distribuidor mundial de productos combustibles para automóviles, aviones, camiones, operaciones marinas, estaciones de servicio e instalaciones de volumen como puntos de distribución. Mantener más de 1,000 puntos de distribución bien suministrados es un importante problema de operación para la compañía. Conservar los niveles de combustible adecuados en las estaciones de servicio es su principal preocupación, ya que el combustible genera el mayor ingreso para la empresa y tiene la mayor demanda de servicio al cliente (disponibilidad del producto). Ser capaces de pronosticar tasas de utilización por producto en estas estaciones de servicio es uno de los elementos clave de una buena operación de distribución. En particular, los despachadores de los camiones tanque requieren un pronóstico preciso de la utilización de combustible con objeto de programar entregas de combustible en las estaciones de servicio para evitar carencias.

OPERACIÓN DE LAS ESTACIONES DE SERVICIO

Las estaciones de servicio pueden manejar tres o cuatro diferentes categorías de combustible, incluyendo gasolina de 87, 89 y 92 octanos y diesel, que se almacenan en tanques subterráneos. Debido a las variaciones en las tasas de utilización entre las estaciones y las capacidades limitadas de estos tanques, la frecuencia de reabastecimiento puede ir desde dos o tres veces por día a sólo algunas veces por semana. Cada tanque se dedica a un tipo de combustible. Los niveles de combustible se miden periódicamente colocando una vara calibrada dentro del tanque de almacenamiento, aunque algunas estaciones más modernas cuentan con dispositivos de medición electrónicos en sus tanques. Los camiones tanque por lo regular cuentan con cuatro compartimientos de combustible, utilizados para reabastecimiento.

UNA SITUACIÓN DE PRONÓSTICO

Cada categoría de combustible de la estación de servicio representa una situación específica de pronóstico. Un ejemplo claro es una de las estaciones de menor volumen al vender combustible de 87 octanos. Ya que el reabastecimiento se presenta sólo unas cuantas veces por semana, los pronósticos de las tasas de utilización sobre una base diaria son adecuados. Ya que la utilización depende del día de la semana, el pronóstico para un día de la semana en particular puede ser muy diferente al de otro día de la semana. En la tabla 1, se proporciona un historial de las tasas de utilización de combustible de 87 octanos de los lunes para los dos últimos años para la estación de bajo volumen. En la figura 1 se muestra una gráfica de esta serie de tiempo. ■

PREGUNTAS

1. Desarrolle un procedimiento de pronóstico para esta estación de trabajo. ¿Por qué seleccionó su método?
2. ¿Cómo deberían manejarse en el pronóstico las promociones, festividades u otros periodos donde las tasas de utilización del combustible se desvían de los patrones normales?
3. Pronostique la utilización del próximo lunes e indique la probable precisión del pronóstico.

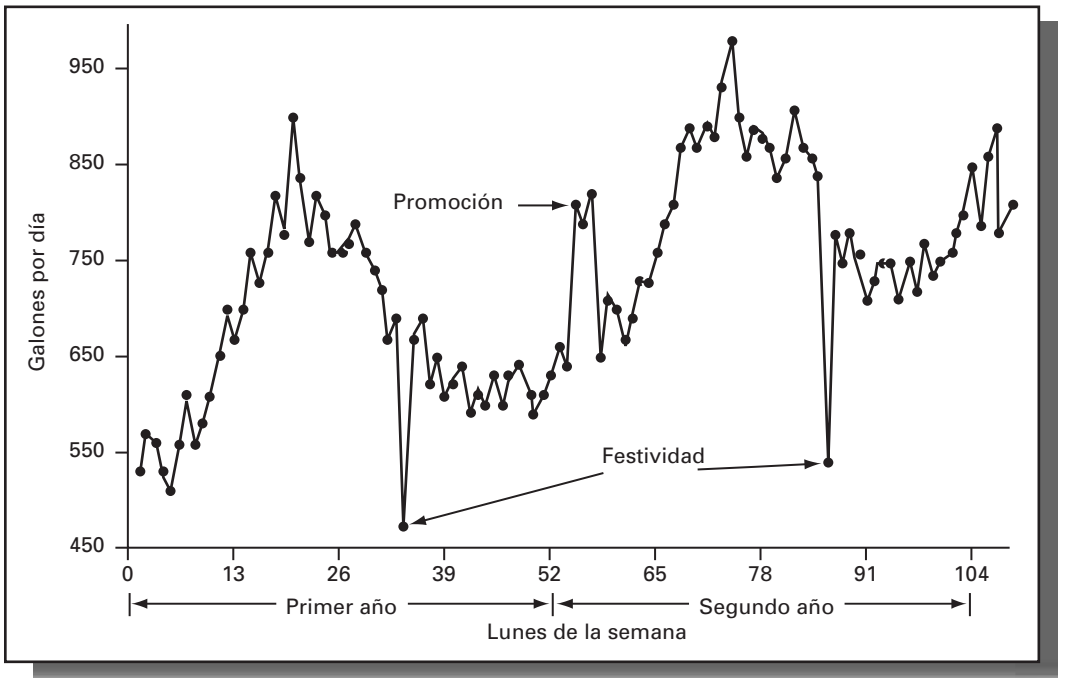
Tabla 1 Tasas de utilización históricas diarias (lunes) del combustible de 87 octanos para una estación de servicio de bajo volumen

Hace dos años		Año pasado		Este año	
Semana	Utilización, gal.	Semana	Utilización, gal.	Semana	Utilización, gal.
1 (Ene.)	530	1 (Ene.)	660	1 (Ene.)	790
2	570	2	640	2	860
3	560	3	810[b]	3	890
4	530	4	790[b]	4	780
5	510	5	820[b]	5	810
6	560	6	650	6	?
7	610	7	710		
8	560	8	700		
9	580	9	670		
10	610	10	690		
11	650	11	730		
12	700	12	730		
13	670	13	760		
14	700	14	790		
15	760	15	810		
16	730	16	870		
17	760	17	890		
18	820	18	870		
19	780	19	890		
20	900	20	880		
21	840	21	930		
22	770	22	980		
23	820	23	900		
24	800	24	860		
25	760	25	890		
26	760	26	880		
27	770	27	870		
28	790	28	840		
29	760	29	860		
30	740	30	910		
31	720	31	870		
32	670	32	860		
33	690	33	840		
34	470[a]	34	540[a]		
35	670	35	780		
36	690	36	750		
37	620	37	780		
38	650	38	760		
39	610	39	710		

Hace dos años		Año pasado		Este año	
Semana	Utilización, gal.	Semana	Utilización, gal.	Semana	Utilización, gal.
40	620	40	730		
41	640	41	750		
42	590	42	750		
43	610	43	710		
44	600	44	750		
45	630	45	720		
46	600	46	770		
47	630	47	740		
48	640	48	750		
49	610	49	760		
50	590	50	780		
51	610	51	800		
52 (Dic.)	630	52 (Dic.)	850		
Totales	34,690		41,030		

[a] Festividad.
[b] Periodo promocional.

Figura 1 Utilización de combustible en lunes en una estación de bajo volumen durante aproximadamente los últimos dos años.



Capítulo 9

Decisiones sobre políticas de inventarios

Todos los errores de la dirección concluyen en el inventario.

—Michael C. Bergerac
Ex Director Ejecutivo
Revlon, Inc.

Los inventarios son acumulaciones de materias primas, provisiones, componentes, trabajo en proceso y productos terminados que aparecen en numerosos puntos a lo largo del canal de producción y de logística de una empresa, según se muestra en la figura 9-1. Los inventarios se hayan con frecuencia en lugares como almacenes, patios, pisos de

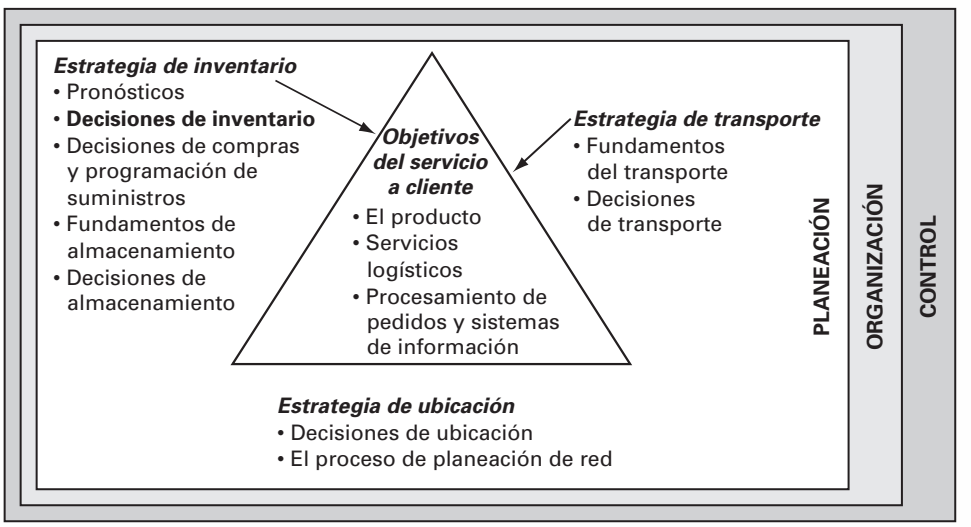
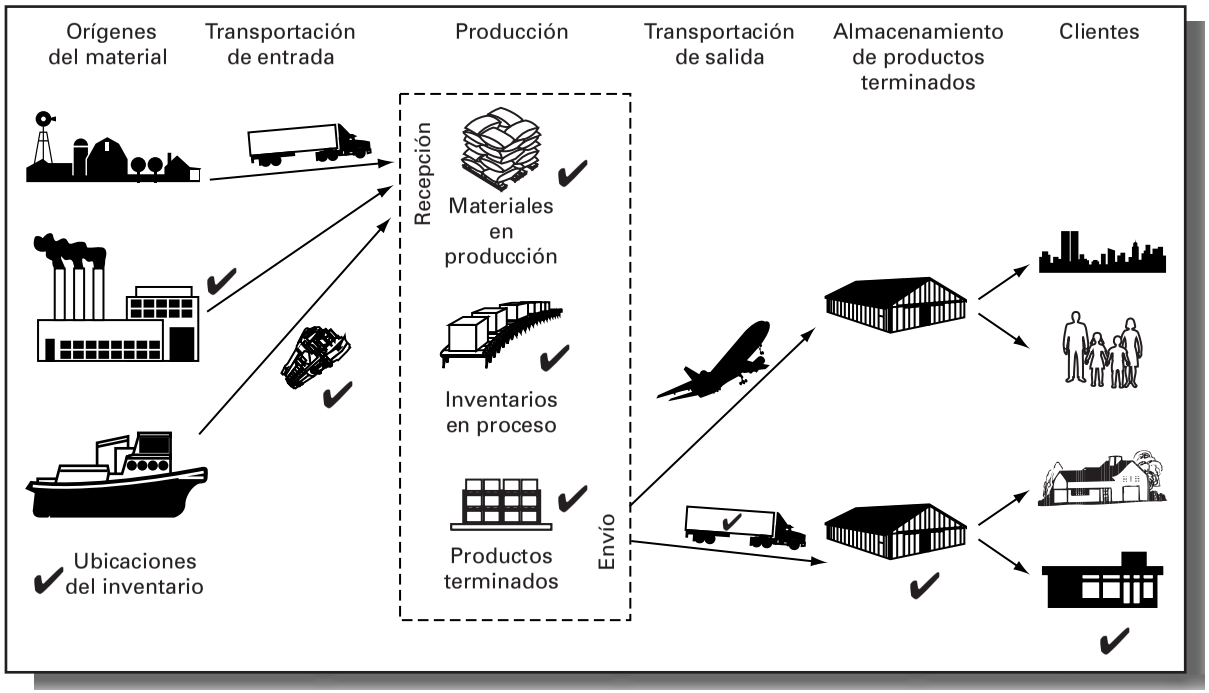


Figura 9-1 Los inventarios se sitúan en cada nivel (o escalón) de la cadena de suministros.



las tiendas, equipo de transporte y en los estantes de las tiendas de menudeo. Tener estos inventarios disponibles puede costar, al año, entre 20 y 40% de su valor. Por lo tanto, administrar cuidadosamente los niveles de inventario tiene un buen sentido económico. Aunque se ha avanzado mucho para reducir los inventarios mediante diferentes sistemas, como el sistema justo a tiempo (*just-in-time*), la comprensión del tiempo, la respuesta rápida y las prácticas de colaboración aplicadas en todo el canal de suministros, la inversión anual en inventarios realizada por fabricantes, minoristas y mayoristas comerciales, cuyas ventas representan alrededor de 99% del PNB, es casi 12% del producto nacional bruto de Estados Unidos.[1] Este capítulo está dedicado al manejo de inventarios que permanecen en el canal de suministros.

Hay mucho por aprender sobre el manejo de inventarios y este capítulo es especialmente largo por eso; sin embargo, el tema puede verse en tres partes importantes. Primero, los inventarios se manejan con más frecuencia como artículos individuales localizados en puntos de almacenamiento únicos. Este tipo de control de inventarios ha sido investigado ampliamente con diversos métodos para muchas aplicaciones específicas. Segundo, se verá el control de inventarios como la administración del inventario en su conjunto. La alta gerencia está particularmente interesada en esta perspectiva, por su necesidad de controlar la inversión general de inventarios, en vez de controlar las unidades individuales que se mantengan en existencia. Por último, se examinará el manejo de inventarios entre múltiples ubicaciones y múltiples niveles dentro de la cadena de suministros.

Evaluación de los inventarios

Hay numerosas razones por las cuales los inventarios están presentes en un canal de suministros; aun así, en años recientes, el mantenimiento de inventarios ha sido totalmente criticado como innecesario y antieconómico. Consideremos por qué una empresa pudiera querer inventarios en algunos niveles de sus operaciones, y por qué esa misma empresa querría mantenerlos al mínimo.

Argumentos a favor de los inventarios

Las razones para mantener los inventarios se relacionan con el servicio al cliente o para costear economías indirectamente derivadas de ellos. Consideremos brevemente algunas de estas razones.

Mejorar el servicio al cliente

Los sistemas de operación quizá no estén diseñados para responder, de manera instantánea, a los requerimientos que los clientes hacen de los productos o servicios. Los inventarios suministran un nivel de disponibilidad del producto o servicio que, cuando se localiza cerca del cliente, puede satisfacer altas expectativas del cliente por la disponibilidad del producto. Disponer de estos inventarios para los clientes no sólo puede mantener las ventas, sino que también puede aumentarlas.

[1] Oficina del Censo de Estados Unidos, *Statistical Abstract of the United States: 2001*, 121a. ed. (Washington, DC, 2001), págs. 623, 644, 657.

Aplicación

Las tiendas de repuestos de automóviles se enfrentan al mantenimiento de miles de piezas de repuesto para una variedad de automóviles de diferentes años y modelos. Un automóvil puede contener hasta 15,000 piezas. Para suministrar el cambio completo más rápido, las tiendas de repuestos manejan un inventario limitado de las piezas de repuesto más populares, como bujías de encendido, correas del ventilador y baterías. El fabricante de automóviles mantiene una segunda hilera de inventarios en almacenes regionales, desde los cuales las piezas pueden ser transportadas por carga aérea. En algunos casos, las tiendas de repuestos pueden recibir estas piezas el mismo día que se requieren. Se puede lograr un alto nivel de disponibilidad de las piezas con un mínimo de inventario que se lleva a cabo en el mismo lugar.

Reducir costos

Aunque mantener inventarios tiene un costo asociado, su uso puede reducir indirectamente los costos de operación de otras actividades de la cadena de suministros, que podrían más que compensar el costo de manejo de inventarios. Primero, mantener inventarios puede favorecer economías de producción, lo que permite periodos de producción más grandes, más largos y de mayor nivel. El rendimiento de la producción puede estar desacoplado de la variación de los requerimientos de la demanda, por lo que los inventarios existen para actuar como amortiguadores entre los dos.

Segundo, mantener inventarios alienta economías en la compra y la transportación. Un departamento de compras puede comprar en cantidades mayores a las necesidades inmediatas de su empresa para obtener descuentos por precio y cantidad. El costo de mantener cantidades en exceso, hasta que se necesiten, se equilibra con la reducción del precio que puede lograrse. De manera similar, los costos de transportación a menudo pueden reducirse mediante el envío de cantidades más grandes, que requieren menos manipulación por unidad. Sin embargo, incrementar el tamaño del envío provoca mayores niveles de inventario, que necesitan mantenerse en *ambos* extremos del canal de transportación. La reducción de los costos de transportación justifica el manejo de un inventario.

Tercero, la compra adelantada implica adquirir cantidades adicionales de productos a precios actuales más bajos, en vez de comprar a precios futuros que se pronostican más altos. Comprar cantidades más grandes que las necesidades inmediatas da origen a un inventario mayor que si se compraran cantidades que corresponden más de cerca a los requerimientos inmediatos. Sin embargo, si se espera que los precios aumenten en el futuro, pueden justificarse algunos inventarios que resulten de las compras adelantadas.

Cuarto, la variabilidad en el tiempo que se necesita para producir y transportar bienes por todo el canal de suministros puede causar incertidumbres que impacten en los costos de operación, así como en los niveles de servicio al cliente. Los inventarios se usan a menudo en muchos puntos del canal para amortiguar los efectos de esta variabilidad, y por lo tanto para ayudar a que las operaciones transcurran sin sobresaltos.

Quinto, en el sistema logístico pueden acontecer impactos no planeados ni anticipados. Huelgas laborales, desastres naturales, oleadas en la demanda y retrasos en los suministros son ejemplos de contingencias contra las cuales los inventarios pueden ofrecer alguna protección. Tener algún inventario en puntos clave por todo el canal de suministros permite al sistema seguir operando durante un tiempo, mientras se puede disminuir el efecto del impacto.

Aplicación

Fabricar papel requiere de costosas máquinas Fourdrinier y otros equipos que tengan grandes capacidades. El elevado costo fijo de este equipo obliga a que esté constantemente ocupado. La demanda de productos industriales de papel (por ejemplo, papel kraft para envoltura, bolsas de papel de paredes múltiples y productos de gran volumen) no se sabe si sea estable y conocida. Aunque los grandes pedidos pueden ser programados directamente para el proceso, la producción de pequeños pedidos sería demasiado costosa, considerando que las modificaciones pueden tardar 30 minutos en máquinas que cuesta operarlas $3,500 la hora. Producir para un inventario y para dar servicio a una demanda de pedidos pequeños de productos más estandarizados a partir de ese inventario reduce el tiempo de inicio, lo cual más que compensa el costo de manejo de inventarios.

Argumentos en contra de los inventarios

Se ha comentado que el trabajo de manejo es mucho más fácil si se tiene la seguridad de los inventarios. Tener existencias excesivas es mucho más defendible de la crítica que estar corto de suministros. La parte principal de los costos de manejo de inventarios es de naturaleza de costos de oportunidad, y por lo tanto no se identifica en los informes normales de contabilidad. La crítica puede merecerse cuando los niveles de inventario han sido demasiado altos para un apoyo razonable de las operaciones.

Las críticas han permitido mantener inventarios a lo largo de varias líneas. Primero, los inventarios son considerados como pérdidas. Absorben capital que podría estar disponible para mejor uso de otra manera, como mejorar la productividad o la competitividad. Además, no contribuyen con ningún valor directo a los productos de la empresa, aunque almacenan valor.

Segundo, pueden enmascarar problemas de calidad. Cuando ocurren problemas de calidad, reducir los inventarios existentes para proteger la inversión de capital es, a menudo, la consideración principal. Corregir los problemas de calidad puede ser lento.

Por último, el uso de inventarios promueve una actitud aislada de la gestión del canal de suministros como un todo. Con los inventarios, a menudo es posible aislar una etapa del canal de otra. Las oportunidades que surgen a partir de tomar esa decisión integrada se considera que no favorecen a todo el canal. Sin inventarios, es difícil evitar la planeación y la coordinación al mismo tiempo en los diferentes niveles del canal.

Tipos de inventarios

Los inventarios pueden clasificarse en cinco formas. Primera, los inventarios pueden hallarse en ductos. Estos son los inventarios en tránsito entre los niveles del canal de suministros. Cuando el movimiento es lento o sobre grandes distancias, o ha de tener lugar entre muchos niveles, la cantidad de inventario en *ductos* puede exceder al que se mantiene en los puntos de almacenamiento. De manera similar, los inventarios de trabajo en proceso entre las operaciones de manufactura pueden considerarse como inventarios en ductos.

Segunda, se pueden mantener existencias para *especulación*, pero todavía son parte de la base total de inventario que debe manejarse. Las materias primas, como cobre, oro y plata se compran tanto para especular con el precio como para satisfacer los requerimientos de la operación. Cuando la especulación de precios tiene lugar durante periodos más allá de las necesidades previsibles de operaciones, dichos inventarios resultantes tal vez sean más un tema de manejo financiero que de dirección logística. Sin embargo, cuando los inventarios se establecen con anticipación a las ventas estacionales o de temporada, u ocurren debido a actividades de compra inmediata, es probable que estos inventarios sean responsabilidad de los encargados de la logística.

Tercero, las existencias pueden ser de naturaleza *regular* o *cíclica*. Estos son los inventarios necesarios para satisfacer la demanda promedio durante el tiempo entre reaprovisionamientos sucesivos. La cantidad de existencias (stock) en el ciclo depende en gran medida del volumen de la producción, de las cantidades económicas del envío, de las limitaciones de espacio de almacenamiento, de los tiempos de reaprovisionamiento totales, de los programas de descuento por precio y cantidad, y de los costos de manejo de inventarios.

Cuarto, el inventario puede crearse como protección contra la variabilidad en la demanda de existencias y el tiempo total de reaprovisionamiento. Esta medida extra de inventario, o existencias de *seguridad*, es adicional a las existencias regulares que se necesitan para satisfacer la demanda promedio y las condiciones del tiempo total promedio. Las existencias de seguridad se determinan a partir de procedimientos estadísticos relacionados con la naturaleza aleatoria de la variabilidad involucrada. La cantidad mantenida de existencias de seguridad depende del grado de variabilidad involucrada y del nivel de disponibilidad de existencias que se suministre. Es esencial un pronóstico preciso para minimizar los niveles del existencias de seguridad. De hecho, si el tiempo total y la demanda pudieran predecirse con 100% de precisión, no serían necesarias las existencias de seguridad.

Por último, cuando se mantiene durante un tiempo, parte del inventario se deteriora, llega a caducar, se pierde o es robado. Dicho inventario se refiere como existencias *obsoletas, stock muerto* o *perdido*. Cuando los productos son de alto valor, perecederos o pueden ser robados fácilmente, deben tomarse precauciones especiales para minimizar la cantidad de dicho *stock*.

Clasificación de los problemas de manejo de inventarios

El manejo de inventarios incluye una variedad de problemas. Dado que el manejo de inventarios no puede efectuarse usando un método de solución único, se necesita clasificar los métodos en algunos grupos más grandes. El manejo de inventarios con el método de justo a tiempo no se incluirá en este grupo, pues la técnica se comenta en el capítulo 10. Con los demás métodos de manejo de inventarios, se supone que se conocen las condiciones del nivel de demanda y sus variables, el tiempo de entrega y sus variables, y los costos relacionados con el inventario, y que dadas estas condiciones se tiene que hacer el mejor trabajo de control de inventario. Por lo contrario, la filosofía del método justo a tiempo (suministrar directamente a demanda cuando ésta ocurra) es con el fin de eliminar inventarios mediante reducción de las variables de demanda y el tiempo del ciclo de reaprovisionamiento, reduciendo tamaños de lote, y forjando fuertes relaciones con un número limitado de proveedores, para asegurar productos de calidad y surtidos precisos de pedidos.

Naturaleza de la demanda

La naturaleza de la demanda en el tiempo tiene una función importante para determinar cómo manejamos el control de los niveles de inventarios. Algunos tipos comunes de patrones de demanda se muestran en la figura 9-2. Quizá la característica más común de la demanda sea continuar en un futuro indefinido. A ese patrón de demanda se refiere como *perpetuo*. Aunque la demanda para la mayor parte de los productos sube y baja a través de sus ciclos de vida, muchos productos tienen una vida de venta que es suficientemente larga como para ser considerada infinita para los propósitos de planeación. Aun cuando las marcas tienen una rotación a una tasa de 20% anual, un ciclo de vida de tres a cinco años puede ser lo suficientemente largo como para justificar tratarlas como si tuvieran un patrón de demanda perpetuo.

Por otra parte, algunos productos son altamente estacionales o tienen un patrón de demanda de una sola vez, o *patrón pico*. Los inventarios que se mantienen para satisfacer tal patrón de demanda por lo regular no pueden rematarse sin un profundo descuento en el precio. Tiene que efectuarse un pedido único de reaprovisionamiento de inventario, con poca o ninguna oportunidad de reorden o de regresar los artículos si la demanda se proyectó con poca precisión. La ropa de moda, los árboles de Navidad y los botones de las campañas políticas son ejemplos de este tipo de patrón de demanda.

De manera parecida, la demanda puede mostrar un patrón irregular o errático. La demanda puede ser perpetua, pero hay periodos de poca o ninguna demanda seguidos de periodos de alta demanda. La programación a tiempo de la demanda irregular no es tan predecible como la demanda estacional, la cual de ordinario ocurre en el mismo tiempo cada año. Los artículos de un inventario normalmente son una mezcla de artículos de demanda irregular y perpetua. Una prueba razonable para separarlos es reconocer que los artículos irregulares tienen gran variación alrededor de su nivel de demanda promedio. Si la desviación estándar de la distribución de la demanda, o el error de pronóstico, es más grande que la demanda promedio o el pronóstico, el artículo tal vez sea irregular. El

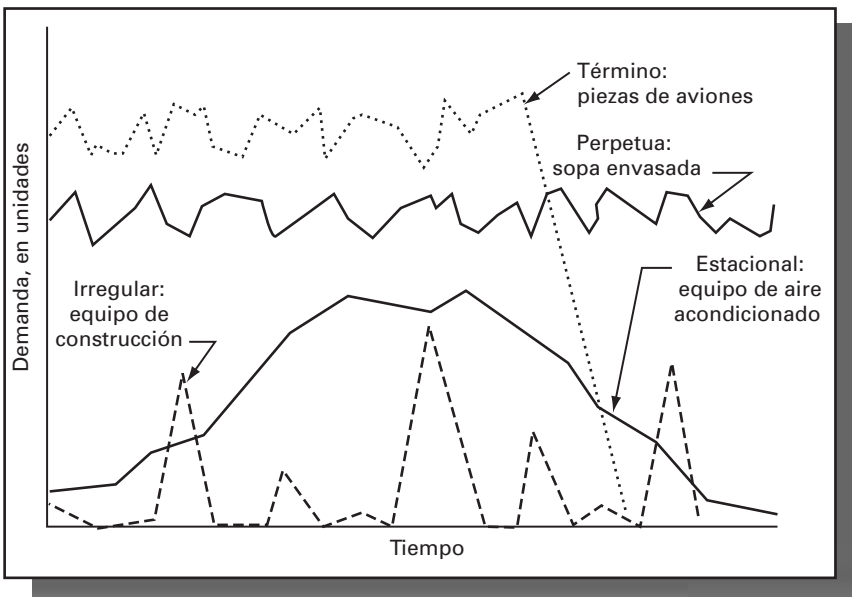


Figura 9-2
Ejemplos de patrones de demanda normal de productos.

control de inventarios de tales artículos se maneja mejor por procedimientos intuitivos, o por una modificación de los procedimientos matemáticos comentados en este capítulo, o también mediante un pronóstico de colaboración.

Hay productos cuya demanda termina en algún momento del tiempo, predecible en el futuro, el cual por lo general dura más de un año. Aquí, la planeación del inventario implica mantener inventarios para satisfacer sólo los requerimientos de la demanda, pero se permite hacer un nuevo pedido dentro del horizonte limitado de tiempo. Los libros de texto con revisiones periódicas planeadas, las piezas de repuesto para los aviones militares y los productos farmacéuticos con vida de anaquel limitada son ejemplos de productos con vida definida. Dado que la distinción entre estos productos y aquellos con vida perpetua a menudo es borrosa, no se tratarán de manera diferente a los productos de vida perpetua para los propósitos de desarrollar una metodología para controlarlos.

Por último, el patrón de demanda para un artículo puede derivarse de la demanda de algún otro artículo. La demanda de materiales para embalar se deriva de la demanda de los productos fundamentales. El control de inventarios de artículos dependientes de la demanda se maneja mejor con alguna forma de planeación del método justo a tiempo, como PRM (planeación de requerimientos de materiales) o PRD (planeación de requerimientos de distribución), los cuales se comentan en el capítulo 10.

Filosofía del manejo

El manejo de los inventarios se desarrolla alrededor de dos filosofías básicas. Primero, el método *de demanda (pull)*. Esta filosofía ve cada punto de las existencias, por ejemplo, un almacén, como independiente de los demás en el canal. El pronóstico de la demanda y la determinación de las cantidades de reaprovisionamiento se realizan tomando en consideración sólo las condiciones locales, según se ilustra en la figura 9-3. No hay consideración directa del efecto que tendrán las cantidades de reaprovisionamiento, cada cual con sus

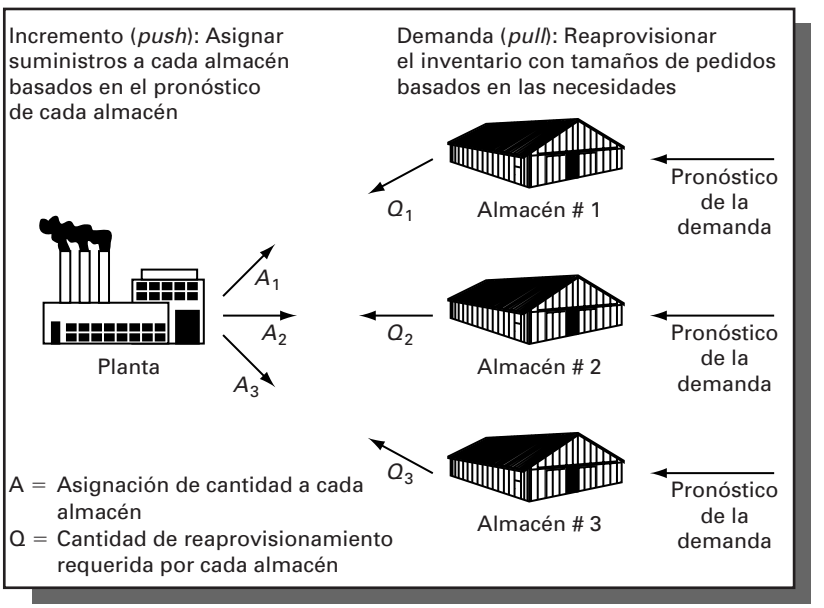


Figura 9-3
Filosofías del manejo de inventarios: demanda (*pull*) e incremento (*push*).

diferentes niveles y oportunidades, en las economías de la planta de origen. Sin embargo, esta valoración ofrece un control preciso sobre los niveles de inventario en cada ubicación. Los métodos *de demanda (pull)* son particularmente populares a nivel de minoristas en el canal de suministro, donde más de 60% de los artículos duros y casi 40% de los artículos blandos están bajo programas de reaprovisionamiento.[2]

Como alternativa se halla el método de *incremento (push)* para manejo de inventarios (véase figura 9-3). Cuando las decisiones sobre cada inventario se hacen de manera independiente, la programación y reabastecimiento según el tamaño de los pedidos no necesariamente estarán coordinados con los tamaños de los lotes de producción, las cantidades económicas de compra, o los mínimos de tamaño de los pedidos. Por lo tanto, muchas empresas eligen asignar cantidades de reaprovisionamiento a inventarios basados en las necesidades proyectadas para inventarios en cada ubicación, espacio disponible, o algún otro criterio. Los niveles de inventario están agrupados colectivamente a través de todo el sistema de almacenamiento. Por lo general, el método de incremento *(push)* se usa cuando las economías de compra o de producción de escala valen más que los beneficios de los niveles mínimos de inventarios colectivos, como se lograba por el método de demanda *(pull)*. Además, los inventarios pueden manejarse centralmente para mejor control general, las economías de producción y de compras pueden usarse para dictar los niveles de inventario a costos más bajos, y pueden hacerse pronósticos sobre la demanda agregada y luego distribuirse a cada punto de las existencias para mejorar la precisión.

El reaprovisionamiento de colaboración puede usarse como un híbrido de los métodos de incremento y demanda. En este caso, los miembros del canal que representan el punto de origen y el de almacenamiento convienen conjuntamente en las cantidades de reaprovisionamiento y su programación. El resultado puede ser un reaprovisionamiento más económico para el canal de suministros que si cada parte sola tuviera que tomar la decisión del reaprovisionamiento.

Grado de agregación del producto

Gran parte del control del inventario se dirige a controlar cada artículo del inventario. Un control preciso de cada artículo puede llevar a un control preciso de la suma de todos los niveles de artículos del inventario. Este es un método de abajo hacia arriba para el manejo de inventarios.

El manejo de grupos de productos en vez de artículos individuales es un método alterno (o de arriba hacia abajo): una perspectiva común de la alta gerencia. Aunque la operación diaria de los inventarios puede requerir control a nivel de artículos, la planeación estratégica de los niveles de inventario puede lograrse sustancialmente mediante la agregación de productos en grupos más amplios. Este es un método satisfactorio cuando el problema es el manejo de la inversión de inventario de todos los artículos en forma colectiva, y no está garantizado el esfuerzo relacionado con el análisis de artículo por artículo para los miles de artículos en sus muchas ubicaciones. Los métodos de control tienden a ser menos precisos para el manejo de inventarios agregados que para el manejo por artículos.

Inventarios de multinivel o multiescalón

Como el manejo de la cadena de suministros ha animado a los gerentes a pensar en incluir cada vez más partes del canal de suministros en sus procesos de planeación, los in-

[2] Tom Andel, "Manage Inventory, Own Information", *Transportation & Distribution* (mayo de 1996), pág. 54 en adelante.

ventarios que se extienden sobre más de un nivel (o escalón) del canal llegan a ser el foco principal. Más que planear inventarios en cada ubicación por separado, planear sus niveles en conjunto puede llevar a cantidades generales de inventarios más bajas. La planeación multinivel de inventario ha sido un problema particularmente difícil de resolver, pero se ha hecho algún progreso en métodos útiles para los gerentes.

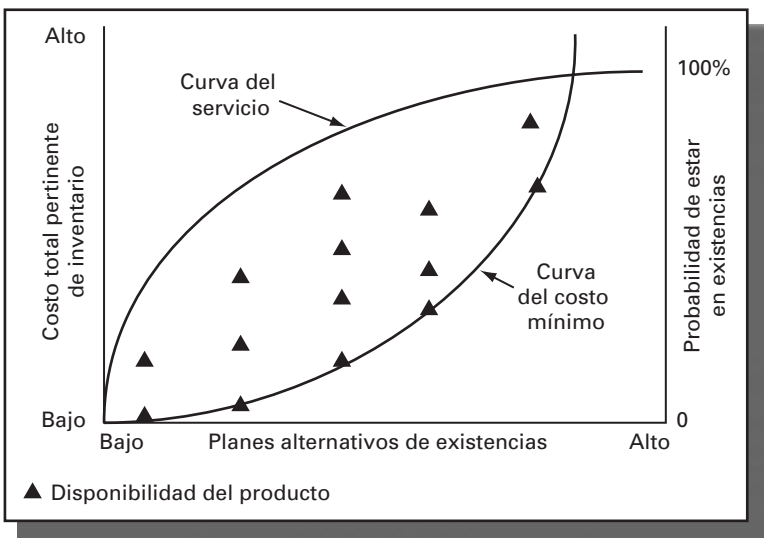
Inventarios virtuales

Históricamente, los clientes eran atendidos a partir de inventarios a los cuales eran asignados. Si un producto estaba agotado, o se perdía una venta o el producto era colocado como pedido pendiente. La mejora de los sistemas de información cambió esto. Llegó a ser posible que las empresas conocieran los niveles de inventarios de productos en cada punto de las existencias de la red de logística, creando un inventario virtual de los productos. A causa de ello, los artículos agotados podían reemplazarse mediante un levantamiento cruzado desde otras ubicaciones. Satisfacer la demanda cuando el levantamiento cruzado es una opción puede causar niveles generales de inventario más bajos y cantidades más altas de surtimiento de productos.

Objetivos del inventario

El manejo del inventario implica equilibrar la disponibilidad del producto (o servicio al cliente), por una parte, con los costos de suministrar un nivel determinado de disponibilidad del producto, por la otra. Como puede haber más de una manera de cumplir con el objetivo del servicio al cliente, buscaremos minimizar los costos relacionados con el inventario para cada nivel del servicio al cliente (véase figura 9-4). Empecemos el desarrollo de la metodología para controlar los inventarios con una manera de definir la disponibilidad del producto y con una identificación de los costos pertinentes por el manejo de los niveles de inventarios.

Figura 9-4
Diseño de curvas para la planeación de inventarios.



Disponibilidad del producto

El principal objetivo del manejo de inventarios es asegurar que el producto esté disponible en el momento y en las cantidades deseadas. Normalmente, esto se basa en la probabilidad de la capacidad de cumplimiento a partir del *stock* actual. A esta probabilidad, o tasa de surtimiento del artículo, nos referiremos como el nivel de servicio, y para un único artículo puede definirse como

$$\text{Nivel de servicio} = 1 - \frac{\text{Número de unidades agotadas anualmente}}{\text{Demanda anual total}} \quad \textbf{(9-1)}$$

El nivel de servicio se expresa como un valor entre 0 y 1. Dado que un nivel de servicio objetivo está típicamente especificado, nuestra tarea será controlar el número esperado de unidades agotadas.

Veremos que controlar el nivel de servicio de un artículo en particular es fácil de calcular. Sin embargo, con frecuencia los clientes solicitan más de un artículo de una sola vez. Por lo tanto, la probabilidad de surtir todo el pedido del cliente puede ser de mayor preocupación que los niveles de servicio para un solo artículo. Por ejemplo, supongamos que se requieren cinco artículos para un pedido donde cada artículo tiene una tasa de surtimiento de 0.95, es decir, sólo 5% de oportunidad de no estar en existencias. Surtir todo el pedido sin ningún artículo que esté fuera de *stock* sería

$$0.95 \times 0.95 \times 0.95 \times 0.95 \times 0.95 = 0.77$$

La probabilidad de surtir completamente el pedido es algo menor que las probabilidades de los artículos individuales.

Numerosos pedidos de muchos clientes mostrarán que en cualquier pedido puede aparecer una mezcla de artículos. El nivel de servicio se expresa entonces más propiamente como *tasa ponderada de surtido promedio* (TPSP). La TPSP se halla de multiplicar la frecuencia con la cual cada combinación de artículos aparece en el pedido por la probabilidad de surtir el pedido completo, dado el número de artículos del pedido. Si se especifica una TPSP objetivo, entonces las tasas de surtido para cada artículo deben ajustarse para alcanzar la TPSP deseada.

Ejemplo

Una compañía de especialidades químicas recibe pedidos para uno de sus productos de pintura. La línea de productos de pintura contiene tres artículos separados que los clientes piden en varias combinaciones. A partir de una muestra de pedidos en el tiempo, los artículos aparecen en pedidos en siete diferentes combinaciones, con frecuencias como las que se anotan en la tabla 9-1. También a partir de los registros históricos de la compañía, la probabilidad de tener cada artículo en *stock* es $SL_A = 0.95$; $SL_B = 0.90$ y $SL_C = 0.80$. Como muestran los cálculos de la tabla 9-1, la TPSP es 0.801. Habrá aproximadamente un pedido de cada cinco en que la compañía no podrá suministrar todos los artículos en el momento en que los pida el cliente.

Recordemos que las medidas adicionales para el servicio al cliente se comentaron en el capítulo 4. Algunas de estas medidas abarcan más que el inventario y no son apropia-

Combinación de artículos en un pedido	(1) Frecuencia de pedidos	(2) Probabilidad de surtir el pedido completo	(3) = (1) × (2) Valor marginal
A	0.1	(.95) = 0.950	0.095
B	0.1	(.90) = 0.900	0.090
C	0.2	(.80) = 0.800	0.160
A, B	0.2	(.95)(.90) = 0.855	0.171
A, C	0.1	(.95)(.80) = 0.760	0.076
B, C	0.1	(.90)(.80) = 0.720	0.072
A, B, C	0.2	(.95)(.90)(.80) = 0.684	0.137
	1.0	TPSP =	0.801

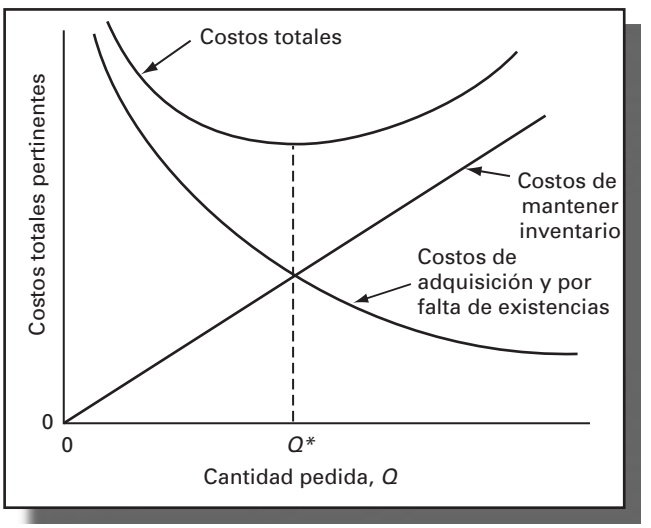
Tabla 9-1 Cálculo de la tasa ponderada de surtido promedio

das para comentarlas aquí. Sin embargo, las medidas adicionales de desempeño del inventario pudieran incluir porcentaje de artículos de órdenes pendientes, porcentaje de pedidos surtidos por completo, porcentaje de pedidos surtidos por completo para un porcentaje dado, y porcentaje de artículos cruzados surtidos desde ubicaciones secundarias. Esto no se comentará más.

Costos pertinentes

Para determinar la política de inventarios son importantes tres clases generales de costos: costos de adquisición, costos de manejo y costos por falta de existencias. Estos costos están en conflicto, o en equilibrio entre sí. Para determinar la cantidad de pedidos de un artículo por reabastecer en un inventario, en la figura 9-5 se muestran estos efectos relevantes en equilibrio.

Figura 9-5
Equilibrio de los costos pertinentes de inventario con la cantidad de pedido.



Costos de adquisición

Los costos asociados con la adquisición de bienes para el reaprovisionamiento del inventario, a menudo son una fuerza económica importante que determina las cantidades de reorden. Cuando se coloca un pedido de reaprovisionamiento de existencias, se incurre en un número de costos relacionados con el procesamiento, ejecución, transmisión, manejo y compra del pedido. Más específicamente, los costos de adquisición pueden incluir el precio (o costo de manufactura) del producto para varios tamaños de pedidos; el costo por establecimiento del proceso de producción; el costo de procesar un pedido a través de los departamentos de contabilidad y compras; el costo de transmitir el pedido al punto de suministro, normalmente usando medios de correo o electrónicos; el costo de transportar el pedido cuando los cargos por transportación no están incluidos en el precio de los artículos comprados; y el costo de cualquier manejo o procesamiento de materiales de los artículos en el punto de recepción. Cuando la empresa se autosuministra, como en el caso de reabastecimiento de una fábrica, sus propios inventarios de artículos terminados, los costos de adquisición se alteran para reproducir los costos de ejecución de la producción. Los costos de transportación pueden no ser relevantes, si está en efecto una política de fijación de precios incluido el reparto.

Algunos de los costos de adquisición se fijan por orden y no varían con el tamaño de la orden. Otros, como la transportación, la manufactura y los costos por manejo de materiales, varían según el grado del tamaño de la orden. Cada uno requiere ligero tratamiento analítico diferente.

Costos de mantener inventario

Los costos de mantener inventario resultan de guardar, o mantener, artículos durante un periodo y son bastante proporcionales a la cantidad promedio de artículos disponibles. Estos costos pueden ser considerados en cuatro clases: costos de espacio, costos de capital, costos de servicio de inventario y costos de riesgo de inventario.

Costos de espacio. Los costos de espacio son cargos hechos por el uso de volumen dentro del edificio de almacenamiento. Cuando este espacio es rentado, las tasas de almacenamiento se cargan normalmente por peso durante un periodo, por ejemplo, $/cwt/mes. Si el espacio se posee de manera privada o por contrato, los costos de espacio se determinan mediante la distribución de los costos de operación relacionados con el espacio (como calefacción y luz), así como los costos fijos, como costos de equipo del edificio y del almacenamiento sobre una base de volumen almacenado. Los costos de espacio son irrelevantes cuando se calculan los costos de manejo para inventarios en tránsito.

Costos de capital. Los costos de capital se refieren al costo del dinero en conexión con el inventario. Este costo puede representar más de 80% del costo total de inventario (véase la tabla 9-2), aunque es el más intangible y subjetivo de todos los elementos del costo de manejo. Hay dos razones para esto. Primero, el inventario representa una mezcla de activos de corto y de largo plazo, ya que algunas *existencias* pueden atender necesidades estacionales y otras se tienen para satisfacer patrones de demanda de más largo plazo. Segundo, el costo de capital puede variar desde la tasa de interés preferencial hasta el costo de oportunidad de capital.

El costo exacto de capital para los propósitos de inventario se ha debatido durante algún tiempo. Muchas empresas usan su costo promedio de capital, en tanto que otras usan la tasa promedio de recuperación requerida de las inversiones de la compañía. Se ha sugerido que la tasa de superación es más precisa para reflejar el costo verdadero de capi-

[3] Douglas M. Lambert, Bernard J. LaLonde, "Inventory Carrying Costs", *Management Accounting* (agosto de 1976), págs. 31-35.

Tabla 9-2
Porcentajes relativos de los elementos de costo en los costos de mantener inventarios

Costos de interés y oportunidad	82.00%
Obsolescencia y depreciación física	14.00
Almacenamiento y manejo	3.25
Impuestos de propiedad	0.50
Seguros	0.25
Total	100.00%

Fuente: Adaptado de Robert Landeros y David M. Lyth, "Economic-Lot-Size Models for Cooperative Inter-Organizational Relationships", *Journal of Business Logistics*, Vol. 10, Núm. 2 (1989), pág. 149.

tal.[3] La tasa de superación es la tasa de rendimiento de las inversiones más lucrativas que la empresa no acepta.

Costos de servicio de inventario. Los seguros y los impuestos también son una parte de los costos de mantener inventarios, porque su nivel depende en gran medida de la cantidad de inventario disponible. La cobertura del seguro se maneja como una protección frente a pérdidas por incendios, tormentas o robo. Los impuestos de inventario son cargados a los niveles de inventario hallados el día del cálculo. Aunque el inventario en el momento del cálculo de impuestos sólo refleja el nivel promedio de inventario experimentado a través del año, los impuestos por lo general representan sólo una pequeña porción del costo total de manejo. Las tasas de impuestos están disponibles fácilmente en los registros de contabilidad o públicos.

Costos de riesgo de inventario. Los costos relacionados con deterioro, pérdida (robo), daño u obsolescencia conforman la categoría final de los costos de mantener inventario. Durante el mantenimiento de los inventarios, cierta parte de las existencias podrán contaminarse, dañarse, deteriorarse, o ser robadas, o de otra manera podrán estar inservibles o no disponibles para la venta. Los costos relacionados con dichas existencias pueden estimarse como pérdida directa del valor del producto, como el costo de trabajar de nuevo el producto, o como el costo de suministrarlo desde una ubicación secundaria.

Costos por falta de existencias

Se incurre en costos por falta de existencias cuando se coloca un pedido pero éste no puede surtirse desde el inventario al cual está normalmente asignado. Hay dos tipos de costos por falta de existencias: costos por pérdidas de ventas y costos por pedido pendiente. Cada uno presupone ciertas acciones por parte del cliente, y dada su naturaleza intangible, son difíciles de medir con precisión.

Un *costo por pérdida de ventas* ocurre cuando el cliente, ante una situación de falta de existencias decide cancelar su requisición del producto. El costo es el beneficio que se habría obtenido de esta venta en particular y puede incluir, además, un costo adicional por el efecto negativo que el estar sin existencias pueda tener en ventas futuras. Aquellos productos que el cliente está dispuesto a sustituir por marcas de la competencia, como pan, gasolina o bebidas no alcohólicas, son los que probablemente incurran en ventas perdidas.

El *costo de pedido pendiente* ocurre cuando un cliente espera a que su pedido sea surtido, por lo que la venta no está perdida, sólo retrasada. Los pedidos pendientes pueden crear costos adicionales de personal y de ventas por el procesamiento de los pedidos, y costos adicionales de transportación y manejo cuando tales pedidos no se surten a través del canal normal de distribución. Estos costos son tangibles, por lo que calcularlos no es

demasiado difícil. También puede producirse el costo intangible de pérdida de ventas futuras. Este costo es muy difícil de calcular. Los productos que pueden ser diferenciados en la mente del cliente (por ejemplo, automóviles y aparatos mayores del hogar) es más probable que pasen a ser pedidos pendientes en vez de ser sustituidos por el cliente.

Control de inventarios por incrementos (*push*)

Comencemos a desarrollar métodos para controlar niveles de inventario mediante la filosofía de incrementos *(push)*. Recordemos que este método es apropiado cuando las cantidades de producción o de compra exceden los requerimientos a corto plazo de los inventarios a los que tienen que enviarse dichas cantidades. Si estas cantidades no pueden ser almacenadas en el lugar de la producción por falta de espacio o por cualquier otra razón, entonces deben asignarse a los puntos de abastecimiento, esperando que de alguna manera tenga buen sentido económico. Los incrementos (push) también son un método razonable para el control de inventarios donde la producción o la compra es la fuerza dominante en el momento de determinar las cantidades de reaprovisionamiento. En cualquier caso, necesitamos hacernos las siguientes preguntas: ¿Cuánto inventario debería mantenerse en cada punto de abastecimiento? ¿Qué cantidad de un pedido de compra o de una producción debería colocarse en cada punto de abastecimiento? ¿Cómo se distribuiría el exceso de suministro sobre los requerimientos entre los puntos de abastecimiento?

Un método para incrementar cantidades en los puntos de abastecimiento incluye los siguientes pasos:

1. Determinar, mediante pronósticos u otros medios, los requerimientos para el periodo comprendido entre el momento actual y el siguiente periodo de producción o de compra del vendedor.
2. Hallar las cantidades disponibles actuales en cada punto de abastecimiento.
3. Establecer el nivel de disponibilidad de existencias en cada punto de almacenamiento.
4. Calcular los requerimientos totales a partir del pronóstico más las cantidades adicionales necesarias para cubrir las incertidumbres en el pronóstico de la demanda.
5. Determinar los requerimientos netos como la diferencia entre los requerimientos totales y las cantidades disponibles.
6. Distribuir el exceso de los requerimientos netos totales a los puntos de abastecimiento en base a la tasa promedio de demanda, es decir, la demanda pronosticada.
7. Sumar los requerimientos netos y prorratear las cantidades excedentes para hallar la cantidad que se va a asignar a cada punto de abastecimiento.

Ejemplo

Cuando los barcos atuneros son enviados a los bancos de pesca, un empacador de productos de atún tiene que procesar todo el atún capturado, dado que el almacenaje es limitado, y por razones competitivas la compañía no quiere vender el exceso de este valioso producto a otros empacadores. Por lo tanto, este empacador procesa todo el pescado capturado por la flota, y luego asigna la producción a sus tres almacenes de campo sobre una base mensual. En la planta sólo hay suficiente almacenamiento para la demanda de un mes. La producción actual es de 125,000 libras.

Para el mes siguiente se pronosticaron las necesidades de cada almacén, se comprobaron los niveles actuales de existencias y se anotó el nivel deseado de disponibilidad de existencias para cada almacén. Los datos se muestran en la tabla 9-3.

Almacén	Nivel actual de existencias	Demanda pronosticada	Error de pronóstico[a] (desviación estándar)	Nivel de disponibilidad de existencias[b]
1	5,000 lb	10,000 lb	2,000 lb	90%
2	15,000	50,000	1,500	95%
3	30,000	70,000	20,000	90%
		130,000		

[a] Se supone que está distribuida normalmente.
[b] El nivel de disponibilidad de existencias se define como la probabilidad de que las existencias estén disponibles durante el periodo de pronóstico.

Tabla 9-3 Datos de planeación básica de inventarios para un empacador de atunes.

Ahora necesitamos calcular los requerimientos totales para cada almacén. Los requerimientos totales para el almacén 1 serán la cantidad pronosticada más la cantidad añadida necesaria para asegurar 90% del nivel de disponibilidad de existencias. Esto se halla a partir de

Requerimientos totales = Pronóstico + (z x error de pronóstico)

donde z es el número de desviaciones estándar en la curva de distribución normal, más allá del pronóstico (la media de distribución) para el punto en el que se representa el 90% del área por debajo la curva (véase figura 9-6). A partir de la curva de distribución normal en el apéndice A, $z = 1.28$. Por ello, el requerimiento total para el almacén 1 es de 10,000 + (1.28 × 2,000) = 12,560. Los requerimientos totales de otros almacenes se calculan de manera similar. La información se registra en la tabla 9-4.

Los requerimientos netos se hallan como la diferencia entre los requerimientos totales y la cantidad disponible en el almacén. Sumar los requerimientos netos (110,635) muestra que 125,000 – 110,635 = 14,365, lo cual es la producción excedente que necesita ser prorrateada en los almacenes.

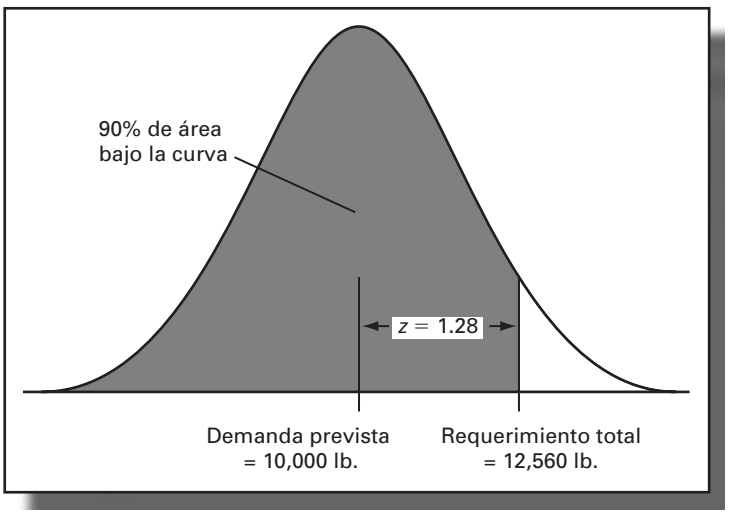


Figura 9-6 Área debajo de la distribución asociada al pronóstico para el almacén 1.

Almacén	(1) Requerimientos totales	(2) Disponible	(3) = (1) – (2) Requerimientos netos	(4) Exceso prorrateado	(5) = (3) + (4) Asignación
1	12,560 lb	5,000	7,560 lb	1,105 lb	8,665 lb
2	52,475	15,000	37,475	5,525	43,000
3	95,600	30,000	65,600	7,735	73,335
	160,635		110,635	14,365	125,000

Tabla 9-4 Asignación de la producción de atún a tres almacenes

El prorrateo de la producción excedente de 14,365 libras se hace en proporción a la tasa de demanda promedio para cada almacén. La demanda promedio para el almacén 1 es de 10,000 libras frente a la tasa de demanda total para todos los almacenes, de 130,000 libras. La proporción del excedente asignado al almacén 1 debería ser (10,000 ÷ 130,000)(14,365) = 1,105. El prorrateo del excedente para los demás almacenes es de la misma manera. La asignación total para un almacén es la suma de su requerimiento neto más su parte del excedente de producción. Los resultados se muestran en la tabla 9-4.

Control básico de inventarios por demanda (*pull*)

Recordemos que el control de inventarios por demanda (pull) otorga bajos niveles de inventario en los puntos de abastecimiento, debido a su respuesta a las condiciones particulares de la demanda y de costo de cada punto de abastecimiento. Aunque se han desarrollado muchos métodos específicos para manejar una diversidad de situaciones, aquí se intentará subrayar las ideas fundamentales. Específicamente, se hará una comparación entre: 1) la demanda de una sola vez, altamente estacionaria o perpetua; 2) el pedido que se dispara desde un nivel particular de inventario o desde un proceso de revisión de los niveles de inventario, y 3) el grado de incertidumbre en la demanda y el tiempo de entrega del reaprovisionamiento.

Pedido único

Cuando los productos involucrados son perecederos o su demanda es de una sola vez, surgen. muchos problemas prácticos de inventario. Productos como vegetales y frutas frescas, flores naturales cortadas, periódicos y algunos medicamentos tienen una vida de anaquel corta y definida, y no están disponibles para periodos de venta subsiguientes. Otros, como juguetes o ropa de moda para la estación inmediata de ventas, bollos para hotdogs para un juego de base ball, y los carteles para campañas políticas tienen un nivel de demanda de una sola vez, que por lo general no puede estimarse con certidumbre. Sólo puede establecerse un pedido para que estos productos satisfagan dicha demanda. Deseamos determinar el tamaño que debe tener ese único pedido.

Para hallar el tamaño más económico de pedido (Q^*), podemos apelar al análisis económico marginal. Es decir, Q^* se halla en el punto donde la ganancia marginal de la siguiente unidad vendida es igual a la pérdida marginal de no vender la siguiente unidad. La ganancia marginal por unidad obtenida por vender una unidad es

$$\text{Ganancia} = \text{Precio por unidad} - \text{Costo por unidad} \quad \textbf{(9-2)}$$

La pérdida incurrida por unidad por no vender una unidad es

$$\text{Pérdida} = \text{Costo por unidad} - \text{Valor de deshecho por unidad} \quad \textbf{(9-3)}$$

Considerando la probabilidad de un número dado de unidades que se venden, las ganancias y las pérdidas esperadas se equilibran en este punto. Es decir,

$$CP_n(\text{pérdida}) = (1 - CP_n)(\text{ganancia}) \quad \textbf{(9-4)}$$

donde CP_n representa la frecuencia acumulada de vender al menos n unidades del producto. Resolviendo la expresión anterior para CP_n, tenemos

$$CP_n = \frac{\text{Ganancia}}{\text{Ganancia} + \text{pérdida}} \quad \textbf{(9-5)}$$

Esto significa que deberíamos continuar incrementando la cantidad de pedido hasta que la probabilidad acumulada de vender unidades adicionales iguale la relación de ganancia ÷ (ganancia + pérdida).

Ejemplo

Una tienda de comestibles estima que venderá la próxima semana 100 libras (45 kg) de su ensalada de papa especialmente preparada. La distribución de la demanda normalmente es distribuida con una desviación estándar de 20 libras (9 kg). El supermercado puede vender la ensalada a $5.99 la libra. Paga $2.50 por libra de los ingredientes. Dado que no se usan conservadores, cualquier ensalada no vendida se da para caridad de manera gratuita.

Hallar la cantidad que se debe preparar para maximizar las ganancias requiere que calculemos primero CP_n. Es decir,

$$CP_n = \frac{\text{Ganancia}}{\text{Ganancia} + \text{Pérdida}} = \frac{(5.99 - 2.50)}{(5.99 - 2.50) + 2.50} = 0.583$$

A partir de la curva de distribución normal (apéndice A), la Q^* óptima está en el punto de 58.3% del área debajo de la curva (véase figura 9-7). Este es un punto donde $z = 0.21$. La cantidad de preparación de la ensalada debería ser

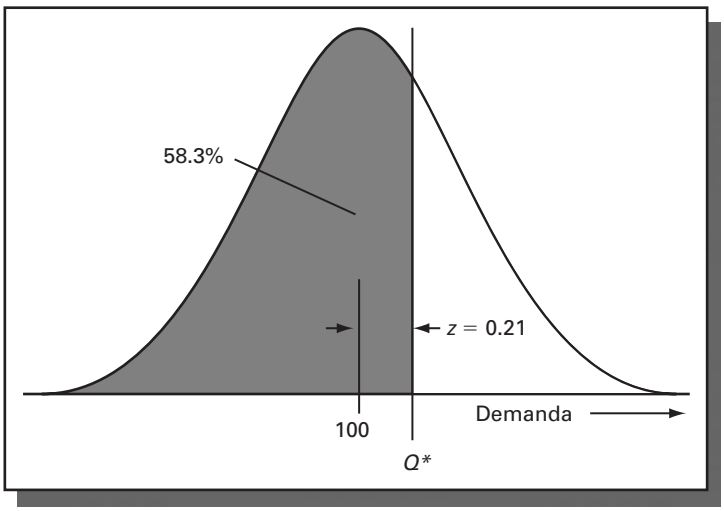
$$Q^* = 100 \text{ lb} + 0.21(20 \text{ lb}) = 104.2 \text{ lb}$$

Cuando la demanda es discreta, la cantidad de pedido puede estar entre valores enteros. En tales casos, redondearemos Q a la siguiente unidad superior para asegurar que al menos CP_n se cumple.

Ejemplo

Una empresa de reparación de equipos desea pedir suficientes piezas de repuesto para mantener una herramienta eléctrica funcionando durante una feria comercial. La persona

Figura 9-7
Demanda distribuida normalmente para el problema de la ensalada de papa.



encargada de las reparaciones da un precio de $95 cada una, si se necesitaran para reparación. Paga $70 por cada pieza. Si no todas las partes fueran necesarias, se podrían devolver al proveedor por un crédito de $50 cada una. La demanda de las partes se estima acorde a la siguiente distribución:

Número de partes	Frecuencia de necesidad	Frecuencia acumulada
0	0.10	0.10
1	0.15	0.25
2	0.20	0.45
3	0.30	0.75 ⇐ Q^*
4	0.20	0.95
5	0.05	1.00
	1.00	

Deberíamos fijar la cantidad del pedido en

$$CP_n = \frac{\text{Ganancia}}{\text{Ganancia + Pérdida}} = \frac{(95 - 70)}{(95 - 70) + (70 - 50)} = 0.555$$

El valor CP_n está entre 2 y 3 unidades en la columna de frecuencia acumulativa. Redondeando hacia arriba, elegimos $Q^* = 3$.

Pedidos repetitivos

En contraste con la demanda que ocurre periódicamente o quizás sólo una vez, la demanda puede ser perpetua. Los pedidos de reaprovisionamiento de inventarios se repiten en el tiempo y pueden suministrarse completos de manera instantánea, o bien, los artículos de los pedidos pueden suministrarse en el tiempo. Se ilustran ambos casos.

Reabastecimiento instantáneo

Cuando la demanda es continua y la tasa es esencialmente constante, el control de los niveles de inventario se realiza especificando: 1) la cantidad que se usará para reaprovisionar el inventario según una base periódica, y 2) la frecuencia de reaprovisionamiento del inventario. Es un problema equilibrar los patrones de costo en conflicto. En el caso más sencillo, se requiere equilibrar los costos de adquisición frente a los costos de manejo, como se muestra en la figura 9-5. Desde 1913, Ford Harris reconoció este problema en su trabajo en Westinghouse. El modelo que desarrolló para hallar la cantidad óptima de pedido se ha conocido como la fórmula básica de la *c*antidad *e*conómica de *p*edido (CEP)[4], y sirve como base para muchas de las políticas de inventario del método de demanda *(pull)* usadas actualmente en la práctica.

La fórmula básica *CEP* se desarrolla a partir de una ecuación de costo total que involucra el costo de adquisición y el costo de manejo de inventario. Se expresa como

$$\text{Costo total} = \text{costo de adquisición} + \text{costo de manejo}$$

$$TC = \frac{D}{Q}S + \frac{ICQ}{2} \qquad \textbf{(9-6)}$$

donde

TC = costo pertinente total y anual del inventario, en dólares
Q = tamaño del pedido para reaprovisionar el inventario, en unidades
D = demanda anual de artículos, que ocurre a una tasa cierta y constante en el tiempo, en unidades/año
S = costo de adquisición, en dólares/pedido
C = valor del artículo manejado en inventario, en dólares/unidad
I = costo de manejo como porcentaje del valor del artículo, porcentaje/año

El término D/Q representa el número de veces al año que se coloca un pedido de reaprovisionamiento en su fuente de suministro. El término $Q/2$ es la cantidad promedio del inventario disponible.

Como Q varía de tamaño, un costo sube cuando el otro baja. Puede mostrarse matemáticamente que existe una cantidad óptima de pedido (Q^*) cuando los dos costos están en equilibrio y resulta el costo total mínimo. La fórmula para esta *CEP* es

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{IC}} \qquad \textbf{(9-7)}$$

El tiempo óptimo entre los pedidos es, por lo tanto,

$$T^* = \frac{Q^*}{D} \qquad \textbf{(9-8)}$$

y el número óptimo de veces por año para colocar un pedido es

$$N = \frac{D}{Q^*} \qquad \textbf{(9-9)}$$

[4] F. W. Harris, "How many Parts to Make at Once", *Factory, The Magazine of Management*, Vol. 10, Núm. 2 (febrero de 1913), págs. 135-136, 152.

Ejemplo

Un fabricante de herramientas eléctricas industriales suministra piezas de repuesto de su inventario. Para una pieza en particular, se espera que la demanda anual sea de 750 unidades. Los costos de preparación de la máquina son $50, los costos de manejo son el 25% anual, y la pieza se valúa en el inventario a $35 cada una. La cantidad económica de pedido colocada en la producción es

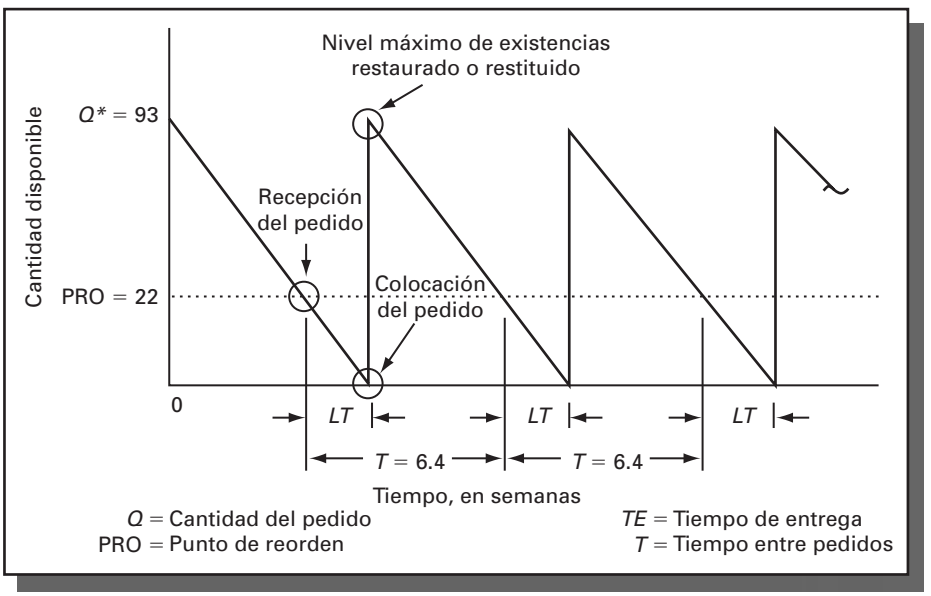
$$Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{IC}} = \sqrt{\frac{2(750)(50)}{(0.25)(35)}} = 92.58 \text{ o } 93 \text{ unidades}$$

Este tamaño de pedido se espera que se coloque en producción cada $T^* = Q^* / D = 92.58 / 750 = 0.12$ años, o 0.12 (años) – 52 (semanas al año) = 6.4 semanas. Por razones prácticas, se redondea a 6 o 7 semanas, con algún ligero incremento en los costos totales.

Tiempo de entrega para reabastecimiento

Usando esta fórmula como parte de un procedimiento de control básico de inventarios, vemos que surge un patrón con forma de diente de sierra de reducción y reaprovisionamiento de inventarios, como se ilustra en la figura 9-8. Ahora podemos introducir la idea del *punto de reorden*, que es la cantidad a la cual se permite dejar caer el inventario antes de colocar un pedido de reaprovisionamiento. Como en general hay un lapso entre el momento en el que se coloca el pedido y el momento en el que los artículos están dispo-

Figura 9-8 Modelo de control básico de inventarios de demanda (*pull*) para una parte de reaprovisionamiento.



nibles en el inventario, la demanda que ocurre en este tiempo intermedio tiene que anticiparse. El punto de reorden (PRO) es

$$PRO = d \times TE \tag{9-10}$$

donde

PRO = cantidad de punto de reorden, en unidades
d = tasa de demanda, en unidades de tiempo
TE = tiempo de entrega promedio, en unidades de tiempo

La tasa de demanda *(d)* y el tiempo de entrega promedio *(TE)* deben expresarse en la misma dimensión de tiempo.

Ejemplo

Continuando el ejemplo previo de la pieza de repuesto de la máquina, supongamos que se necesitan 1.5 semanas para ejecutar la producción y hacer las piezas. La tasa de demanda es d = 750 (unidades por año) 52 (semanas por año) = 14.42 unidades por semana. Por lo tanto, $PRO = 14.42 \times 1.5 = 21.6$ o 22 unidades. Ahora podemos establecer la política de inventarios: Cuando el nivel de inventario desciende a 22 unidades, colocamos un pedido de reaprovisionamiento de 93 unidades.

Sensibilidad a las imprecisiones de los datos

La demanda y los costos no siempre pueden conocerse con seguridad. Sin embargo, nuestro cálculo de la cantidad económica de pedido no es muy sensible a proyecciones incorrectas de datos. Por ejemplo, si la demanda es, de hecho, 10% más alta que lo anticipado, Q^* sólo debería incrementarse $\sqrt{1.10} = 4.88\%$. Si el costo de manejo es 20% inferior a lo supuesto, Q^* debería incrementarse sólo $\sqrt{1 / (1 - 0.20)} = 11.8\%$. Estos cambios de los porcentajes se insertan en la fórmula *CEP* sin cambiar el costo restante o los factores de la demanda, dado que permanecen constantes. Fíjese en la estabilidad de los valores Q^*. Si se usó la cantidad incorrecta de pedido en estos dos casos, los costos totales habrían tenido un error de sólo 0.11 y 0.62%, respectivamente.

Reabastecimiento no instantáneo

Una suposición incorporada de la fórmula *CEP* original de Ford Harris era que el reabastecimiento sería instantáneamente en un solo lote de tamaño Q^*. En algunos procesos de manufactura y reabastecimiento, la salida es continua durante un tiempo, y puede tener lugar simultáneamente con la demanda. El patrón básico en forma de diente de sierra de los inventarios disponibles se modifica, tal y como se muestra en la figura 9-9. La cantidad de pedido ahora se convierte en la cantidad de producción, o tamaño de lote de producción, cantidad (*POQ*) marcada Q_p^*. Para encontrar Q_p^*, la fórmula de la cantidad básica de pedido se modifica así:

$$Q_p^* = \sqrt{\frac{2DS}{IC}} \sqrt{\frac{p}{p - d}} \tag{9-11}$$

donde p es la tasa de salida. Calcular Q_p^* sólo tiene sentido cuando la tasa de producción p excede la tasa de demanda d.

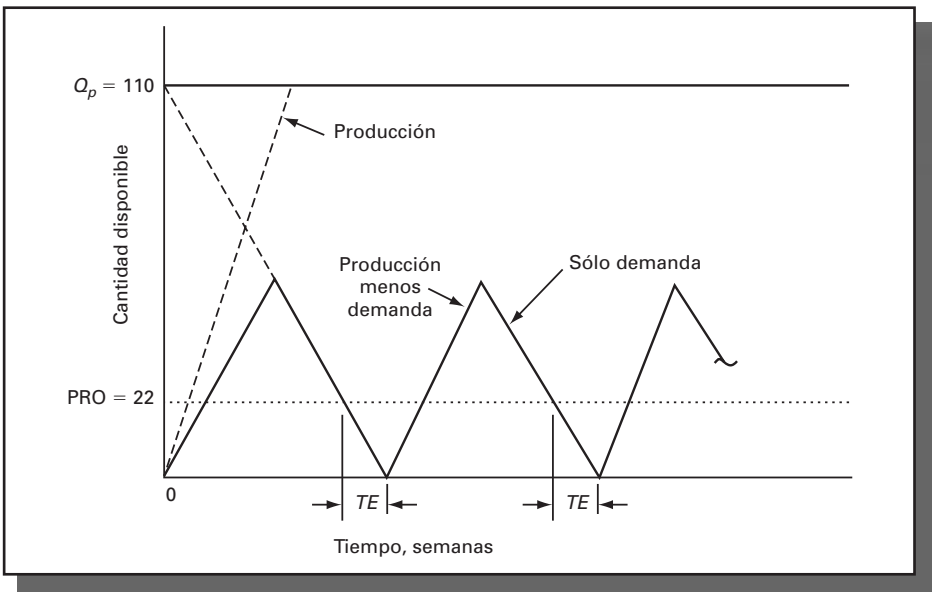


Figura 9-9 Reabastecimiento no instantáneo para un problema de piezas de repuesto.

Ejemplo

Una vez más, para el problema anterior de piezas de repuesto, supongamos que la tasa de producción para estas piezas es de 50 unidades por semana. La cantidad del lote de producción es

$$Q_p^* = \sqrt{\frac{2(70)(50)}{(0.25)(35)}}\sqrt{\frac{50}{50 - 14.42}}$$
$$= 92.5 \times 1.185 = 109.74, \text{ o } 110 \text{ unidades}$$

La cantidad de *PRO* permanece sin cambios.

Control avanzado de inventarios por demanda (*pull*)

El control avanzado de inventarios por demanda significa que reconocemos que la demanda y el tiempo de entrega no se pueden conocer con seguridad. Por lo tanto, tenemos que planear para una situación en la que no haya suficientes existencias disponibles para surtir las solicitudes de los clientes. Además de las existencias regulares que se mantiene para satisfacer la demanda promedio y el tiempo de entrega promedio, se añade una cantidad de incremento al inventario. La cantidad de estas existencias de seguridad, o amortiguador, fija el nivel de disponibilidad de existencias suministradas a los clientes al controlar la probabilidad de que ocurra falta de existencias.

Dos métodos de control de inventarios forman la base para la mayor parte de las filosofías de manejo de tipo demanda *(pull)* con patrones de demanda perpetua. Estas son: 1) el método del punto de reorden, y 2) el método de revisión periódica. Los sistemas prácticos de control pueden basarse en cualquiera de estos métodos o en una combinación de ellos.

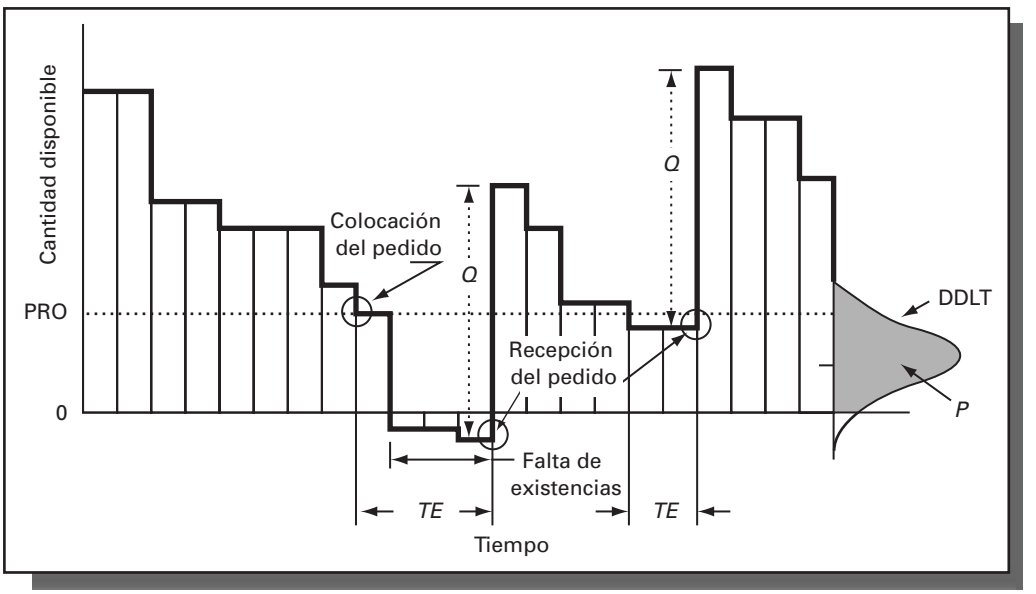
Modelo del punto de reorden con demanda incierta

Hallar Q y PRO*

El control de inventarios por punto de reorden supone que la demanda es perpetua y actúa continuamente en el inventario para reducir su nivel. Cuando el inventario se reduce hasta el punto en el que su nivel es igual o menor que una cantidad específica llamada el punto de reorden, se coloca una cantidad económica de pedido de Q^* en el punto de suministro para reponer el inventario. El nivel efectivo de inventario en un momento determinado del tiempo es la cantidad disponible más la cantidad del pedido, menos cualquier obligación contra el inventario, como pedidos pendientes del cliente o asignaciones para producción o para los clientes. La cantidad total de Q^* llega a un punto en el tiempo que se compensa por el tiempo intermedio. Entre el momento en el que se reabastece el pedido al punto de reorden y cuando el mismo llega al *stock*, hay riesgo de que la demanda exceda a la cantidad que queda en el inventario. La probabilidad de que esto ocurra se controla elevando o descendiendo el punto de reorden y ajustando Q^*.

En la figura 9-10, la operación del sistema de punto de reorden se ilustra para un solo artículo, donde la demanda durante el tiempo intermedio se conoce sólo al grado de una distribución de probabilidad normal. Esta demanda durante la distribución del tiempo de entrega (DDLT, por sus siglas en inglés) tiene un punto medio de X' y una desvia-

Figura 9-10 Control de inventarios del punto de reorden bajo incertidumbre para un artículo.



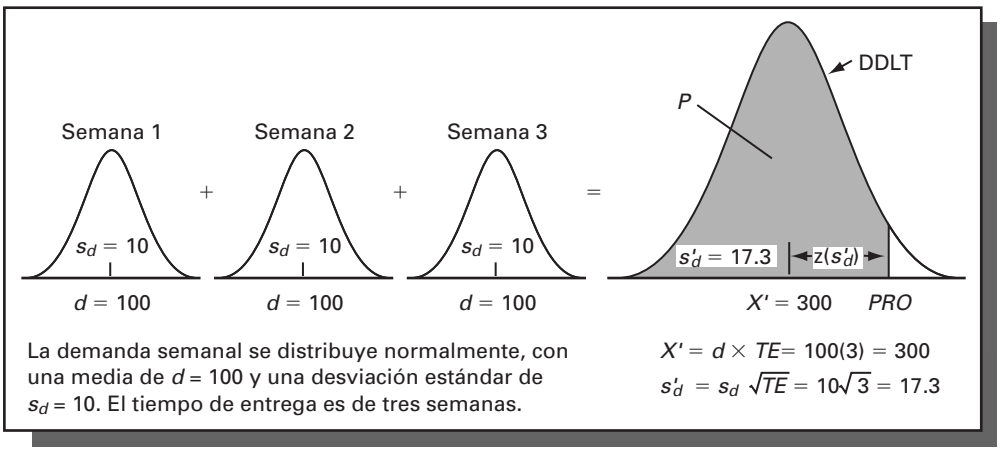


Figura 9-11 Acumulación de una distribución de demanda de un periodo único en una distribución de frecuencia de demanda durante el tiempo de entrega (DDLT).

ción estándar de s'_d. Los valores de X' y s'_d por lo regular no se conocen en forma directa, pero pueden estimarse fácilmente sumando la distribución de la demanda de un periodo único sobre la duración del tiempo de entrega. Por ejemplo, supongamos que la demanda semanal para un artículo se distribuye normalmente con una media $d = 100$ unidades y una desviación estándar $s'_d = 10$ unidades. El tiempo de entrega es de tres semanas. Deseamos acumular la distribución semanal de la demanda en una distribución de demanda DDLT de tres semanas (véase figura 9-11). El punto medio de la distribución DDLT simplemente es la tasa de demanda d por el tiempo de entrega TE, o $X' = d \times TE = 100 \times 3 = 300$. La variación de la distribución DDLT se halla sumando las variaciones de las distribuciones de demanda semanales (véase figura 9-11). Es decir, $s'^2_d = TE\,(s'^2_d)$. La desviación estándar es la raíz cuadrada de s'^2_d, que es $s'^2_d = s_d\sqrt{TE} = 10\sqrt{3} = 17.3$.

Hallar Q^* y PRO es más bien matemáticamente complejo; sin embargo, puede hallarse una aproximación satisfactoria si determinamos primero Q^*, según la fórmula básica CEP (ecuación 9-7).[5] Luego, hallamos

$$PRO = d \times TE + z(s'_d) \qquad \textbf{(9-12)}$$

El término z es el número de desviaciones estándar desde la media de la distribución DDLT, para darnos la probabilidad deseada de tener existencias durante el tiempo de entrega. El valor de z se halla en una tabla de distribución normal (apéndice A) para el área debajo de la curva P.

Ejemplo

Buyers Products Company distribuye un artículo conocido como barra separadora, que es un perno en forma de U usado en equipos para camiones. Se han reunido los siguientes datos de este artículo mantenido en inventario:

[5] Sven Axsäter, "Using the Deterministic EOQ Formula in Stochastic Inventory Control", *Management Science*, Vol. 42, Núm. 6 (junio de 1996), pág. 830.

Pronóstico de la demanda mensual, d	11,107 unidades
Error estándar de pronóstico, s_d	3,099 unidades
Tiempo total de reaprovisionamiento, TE	1.5 meses
Valor del artículo, C	\$0.11/unidades
Costo por procesamiento del pedido al proveedor, S	\$10/pedido
Costo por manejo de inventario, I	20%/año
Probabilidad de existencias durante el tiempo de entrega, P	75%

La cantidad de reorden es

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{IC}} = \sqrt{\frac{2(11,107)(10)}{(0.20/12)(0.11)}} = 11,008 \text{ unidades}$$

El punto de reorden es

$$ROP = d \times TE + z(s'_d)$$

donde $s'_d = s_d\sqrt{TE} = 3,099\sqrt{1.5} = 3,795$ unidades. El valor de z es 0.67 según el Apéndice A, donde la fracción del área por debajo de la curva de distribución normal es 0.75. De esta manera,

$$PRO = (11,107 \times 1.5) + (0.67 \times 3,795) = 19,203 \text{ unidades}$$

Por lo tanto, cuando el nivel efectivo de inventario descienda a 19,203 unidades, hay que colocar un pedido de reaprovisionamiento de 11,008 unidades.

Es común que la cantidad del punto de reorden exceda a la cantidad de pedido, como fue el caso del ejemplo anterior. Esto ocurre a menudo cuando los tiempos entrega son largos o las tasas de la demanda son altas. Para que el sistema de control del punto de reorden funcione apropiadamente, hay que asegurarse de que la oportunidad de colocar un pedido de reaprovisionamiento a tiempo se base en el nivel efectivo del inventario. Recordemos que el nivel efectivo de inventario requiere que todo el *stock* del pedido se sume a la cantidad actual disponible en el momento de hacer una comparación con el punto de reorden. Cuando $PRO > Q^*$, el resultado de este procedimiento es que un segundo pedido se colocará antes que el primero llegue al stock.

Nivel promedio de inventario

El nivel promedio de inventario para este artículo es el total de las existencias regulares más las existencias de seguridad. Es decir,

$$\text{Inventario promedio} = \text{existencias regulares} + \text{existencias de seguridad}$$
$$AIL = Q/2 + z(s'_d) \qquad \textbf{(9-13)}$$

Ejemplo

Para el problema anterior de la barra separadora, el inventario promedio sería $A/L = (11,008/2) + (0.67 \times 3,795) = 8,047$ unidades.

Costo pertinente total

El costo pertinente total es útil para comparar políticas alternativas de inventarios o para determinar el impacto de las desviaciones de las políticas óptimas. Añadimos dos nuevos términos a la fórmula del costo total establecido en la ecuación (9-6), los cuales explican la incertidumbre. Estos términos son existencias de seguridad y falta de existencias. El costo total puede expresarse ahora como

Costo total = costo del pedido + costo de manejo, existencias regulares
+ costo de manejo, existencias de seguridad + costo por falta de existencias

$$TC = \frac{D}{Q}S + IC\frac{Q}{2} + ICzs'_d + \frac{D}{Q}ks'_dE_{(z)} \qquad \textbf{(9-14)}$$

donde k es el costo por unidad por falta de existencias. El término costo por falta de existencias requiere alguna explicación. Primero, el término combinado de $s'_dE_{(z)}$ representa el número esperado de unidades agotadas durante un ciclo de pedido. $E_{(z)}$ se llama la unidad normal de pérdida integral cuyos valores están tabulados como función de la desviación normal z (véase apéndice B). Segundo, el término D/Q es el número de ciclos de pedido por periodo, normalmente un año. De aquí que el número de ciclos de pedido multiplicado por el número esperado de unidades agotadas durante cada ciclo del pedido, dé el número total esperado de unidades agotadas para todo el periodo. Luego, multiplicándolo por el costo de falta de existencias da el costo total del periodo.

Ejemplo

Continuando con el ejemplo de la barra separadora, supongamos que el costo por falta de existencias se estime en $0.01 por unidad. El costo total anual para el artículo sería

$$TC = \frac{11,107(12)10)}{11,008} + 0.20(0.11)\left(\frac{11,008}{2}\right)$$
$$+0.20(0.11)(0.67)(3,795) + \frac{11,107(12)}{11,008}(0.01)(3,795)(0.150)$$
$$= 121.08 + 121.09 + 55.94 + 68.92 = \$367.03 \text{ por año}$$

Nota: El valor de 0.150 para $E_{(z)} = E_{(0.67)}$ surge de la tabla del Apéndice B para $z = 0.67$.

Nivel de servicio

El nivel de servicio al cliente, o tasa de disponibilidad del artículo, logrado por una política de inventario en particular, fue definido previamente en la ecuación (9-1). Volviéndola a escribir con los símbolos que estamos usando ahora, tenemos que

$$SL = 1 - \frac{(D/Q)(s'_d \times E_{(z)})}{D} = 1 - \frac{s'_d(E_{(z)})}{Q} \qquad \textbf{(9-15)}$$

Ejemplo

El nivel de servicio alcanzado para el problema de la barra separadora es de

$$SL = 1 - \frac{3,795(0.150)}{11,008} = 0.948$$

Esto es, la demanda de barras separadoras puede alcanzar 94.8% del tiempo. Nótese que esto es algo más que la probabilidad de falta de existencias durante el tiempo de entrega de $P = 0.75$.

Aplicación

Un fabricante de empalmes de mangueras de rápida conexión usa un sistema fácil para aplicar el método del punto de reorden de control de inventario. En la fábrica se mantiene un inventario de artículos terminados, desde la cual se surten los pedidos de los clientes. Las existencias se dividen en dos secciones. Una cantidad de un artículo, igual a la cantidad del punto de reorden, se coloca en un cajón cubierto en la sección de reserva del área de existencias. Un segundo cajón contiene el resto de las existencias. Todos los pedidos se surten primero del segundo cajón. Cuando se agota todo el *stock* del segundo cajón, se lleva el primer cajón del almacén de reserva y se acomoda en su posición. Esta acción es el disparador para ordenar un pedido de reaprovisionamiento a producción. No se necesitan muchos trámites (o ninguno) para hacer que un sistema de control de inventarios algo sofisticado opere con efectividad.

Método del punto de reorden con costos conocidos de falta de existencias

Cuando se conocen los costos de falta de existencias no es necesario asignar un nivel de servicio al cliente. Puede calcularse el equilibrio óptimo entre el servicio y el costo. Un procedimiento de cálculo iterativo se perfila así:

1. Aproximar la cantidad de pedido a partir de la fórmula básica *CEP* [ecuación (9-7)], es decir,

$$Q = \sqrt{\frac{2DS}{IC}}$$

2. Calcular la probabilidad de tener existencias durante el tiempo de entrega si se permite tener pedidos pendientes

$$P = 1 - \frac{QIC}{Dk} \qquad \textbf{(9-16)}$$

o si en un periodo de falta de existencias se pierde la venta

$$P = 1 - \frac{QIC}{Dk + QIC} \qquad \textbf{(9-17)}$$

Hallar s'_d. Buscar el valor de z que corresponde a P en la tabla de distribución normal (apéndice A). Hallar $E_{(z)}$ de la tabla integral de pérdida normal por unidad (apéndice B).

3. Determinar una Q revisada a partir de la fórmula CEP modificada, que es

$$Q = \sqrt{\frac{2D[S + ks'_dE_{(z)}]}{IC}} \qquad \textbf{(9-18)}$$

4. Repetir los pasos 2 y 3 hasta que no haya cambios en P o Q. Continuar.

5. Calcular PRO y otras estadísticas como se desee.

Ejemplo

Repetir el ejemplo de la barra separadora, con el costo conocido de falta de existencias de $0.01 por unidad y con pedidos pendientes permitidos.

Estimar Q

$$Q = \sqrt{\frac{2DS}{IC}} = \sqrt{\frac{2(11,107)(12)(10)}{0.20(0.11)}} = 11,008 \text{ unidades}$$

Estimar P

$$P = 1 - \frac{QIC}{Dk} = 1 - \frac{11,008(0.20)(0.11)}{11,107(12)(0.01)} = 0.82$$

Según el apéndice A, $z_{@0.82} = 0.92$. Según el apéndice B, $E_{(0.92)} = 0.0968$.

Revisar Q. La desviación estándar de DDLT fue calculada previamente y era $s'_d = 3,795$ unidades. Ahora,

$$Q = \sqrt{\frac{2D[S + ks'_dE_{(z)}]}{IC}} = \sqrt{\frac{2(11,107)(12)[(10 + 0.01(3,795)(0.068)]}{0.20(0.11)}} = 12,872 \text{ unidades}$$

Revisar P

$$P = 1 - \frac{12,872(0.20)/(0.11)}{11,107(12)(0.01)} = 0.79$$

Ahora, $z_{@0.79} = 0.81$ y $E_{(0.81)} = 0.1181$.

Revisar Q

$$Q = \sqrt{\frac{2(11,107)(12)[10 + 0.01(3,795)(0.1181)]}{0.20(0.11)}} = 13,246 \text{ unidades}$$

Continuamos este proceso de revisión hasta que los cambios en P y Q sean tan pequeños que no resulte práctico hacer más cálculos. Los resultados son $P = 0.78$, $Q^* = 13,395$ unidades y $PRO = 19,583$ unidades, con un costo total pertinente de $TC = \$15,019$ y un nivel de servicio actual (tasa de disponibilidad del artículo) de $SL = 96$ por ciento.

Método del punto de reorden con tiempos de demanda y de entrega inciertos

Las incertidumbres en el tiempo de entrega puede extender el realismo del modelo de punto de reorden. Lo que se desea hacer es hallar la desviación estándar (s'_d) de la distribución DDLT, basada en la incertidumbre tanto de la demanda como del tiempo de entrega. Sumar la variación de la demanda a la variación del tiempo de entrega da una fórmula revisada para s'_d, que es

$$s'_d = \sqrt{TEs_d^2 + d^2 s_{TE}^2} \qquad \textbf{(9-19)}$$

donde s_{LT} es la desviación estándar del tiempo de entrega.[6]

Ejemplo

En el problema de la barra separadora, s_{TE} es igual a 0.5 meses. El valor para s'_d sería ahora

$$s'_d = \sqrt{1.5(3,099)^2 + 11,107^2(0.5)^2} = 6,727 \text{ unidades}$$

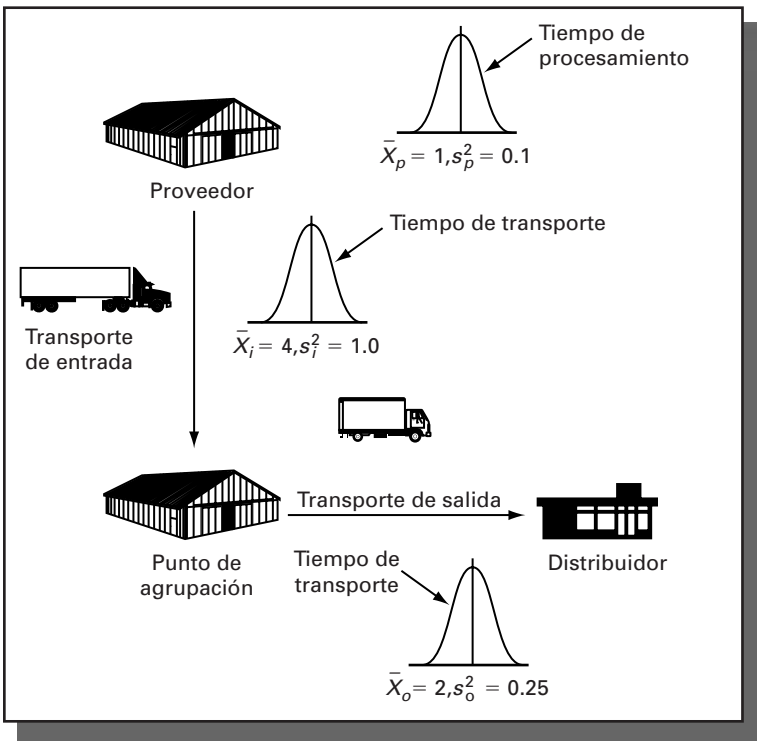
Combinar la variabilidad de la demanda y del tiempo de entrega de esta manera puede incrementar en gran medida s_d y las existencias de seguridad resultantes. Brown advierte que las distribuciones de la demanda y del tiempo de entrega pueden depender una de otra.[7] Antes bien, cuando se asigna un pedido de reaprovisionamiento, se tiene una idea razonable del tiempo de entrega para ese pedido. Por lo tanto, la aplicación de la ecuación (9-19) puede llevar a una aseveración exagerada de s'_d y de la cantidad resultante de existencias de seguridad. Si los tiempos totales varían de manera impredecible, Brown sugiere el siguiente procedimiento preciso para determinar la desviación estándar de la demanda durante el tiempo intermedio:

> Pronostique la demanda por tiempo de entrega. Un tiempo de entrega comienza cuando usted desencadena un pedido de reaprovisionamiento. Registre la demanda del año en curso a ese momento. Más adelante, cualquier pedido que se reciba es, por definición, el final del tiempo de entrega. Examine la demanda del año en curso. La diferencia entre la demanda actual del año en curso y el valor de cuando se liberó el pedido es, precisamente, por definición, la demanda durante el tiempo de entrega. Los valores de esta variable pueden pronosticarse (normalmente con modelos de pronóstico muy sencillos) y el error del cuadrado del punto medio es la variación de la demanda durante el tiempo de entrega, precisamente el valor que estamos buscando.[8]

Alternativamente y de manera menos precisa, el tiempo de entrega más largo puede usarse como el tiempo intermedio promedio, con s_{TE} fijo en cero (0). Luego, la desviación estándar se calcula en $s'_d = s_d\sqrt{TE}$.

[6] Fíjese que si la demanda se conoce con seguridad ($s_d = 0$) y el tiempo de entrega es incierto, entonces $s'_d = ds_{TE}$.
[7] Robert G. Brown, *Materials Management Systems* (Nueva York, John Wiley & Sons, 1977), págs. 150-151.
[8] Íbid.

Figura 9-12
Elementos múltiples de tiempo a través del canal de suministros.



Ejemplo

Supongamos que tiene que mantenerse un inventario en el estante de un distribuidor para un artículo cuya demanda está prevista que sea $d = 100$ unidades por día y $s_d = 10$ unidades por día. El método de control de inventarios es un punto de reorden. Hay múltiples puntos por todo el canal de suministros donde se incurre en tiempos en el flujo del producto entre el punto de origen y el cliente. Las distribuciones de estos tiempos que forman el tiempo de entrega de reaprovisionamiento del pedido se muestran en la figura 9-12. No se mantiene ninguna cantidad significativa de inventario en el punto de agrupamiento o en los camiones.

También sabemos que

$I =$ 10%/año
$S =$ \$10/pedido
$C =$ \$5/unidad
$P = 0.99$

Determinar el inventario promedio por mantenerse en el distribuidor.

Solución Aplicar el método de control de inventarios del punto de reorden. Sin embargo, para determinar las estadísticas de distribución de la demanda durante el tiempo de entrega se requiere tomar en cuenta el tiempo de entrega para *todo* el canal.

Recordemos:

$$s'_d = \sqrt{TEs_d{}^2 + d^2 s_{TE}{}^2}$$

donde, a partir de la figura 9-12

$$s_{LT}^2 = s_p^2 + s_i^2 + s_o^2 = 0.1 + 1.0 + 0.25 = 1.35 \text{ días}$$

y

$$TE = \bar{X}_p + \bar{X}_i + \bar{X}_o = 1 + 4 + 2 = 7 \text{ días}$$

Ahora

$$s'_d = \sqrt{7 \times 10^2 + 100^2 \times 1.35} = \sqrt{14,200} = 119.16 \text{ unidades}$$

y

$$AIL = \frac{Q^*}{2} + zs'_d$$

donde

$$Q^* = \sqrt{\frac{2(100)(10)}{0.1(5)}} = 63 \text{ unidades}$$

Finalmente, el nivel promedio de inventario es

$$AIL = \frac{63}{2} + 2.33(119.16) = 309 \text{ unidades}$$

Modelo de revisión periódica con demanda incierta

Una alternativa para el método de control del punto de reorden es el de revisión periódica. Aunque el método del punto de reorden ofrece un control preciso sobre cada artículo del inventario, y por lo tanto el costo total pertinente más bajo, tiene algunas desventajas económicas. Por ejemplo, es posible que cada artículo se solicite en un momento diferente, con lo que se pierde la producción, la transportación o economías de compra conjuntas. En lo administrativo, el control del punto de reorden requiere monitoreo constante de los niveles de inventario. Alternativamente, bajo controles de revisión periódica, pueden revisarse al mismo tiempo los niveles de inventario para múltiples artículos, por lo que pueden solicitarse juntos, con lo que se logran economías de producción, transportación o compras. El control de revisión periódica da por resultado un poco más de inventario, pero los costos añadidos de su manejo pueden estar más que compensados por costos administrativos reducidos, precios más bajos o costos de adquisición más bajos. Las razones para preferir un método de revisión periódica pueden resumirse así:

1. Se usa un sistema manual de contabilidad de inventarios, y es conveniente revisar las existencias en el inventario en una agenda definida. Esto puede hacerse sobre una base de *conteos cíclicos*, en los cuales una parte de las existencias se revisa cada día o cada semana, quizá sobre una base *ABC* (se reordenan artículos *A* más a menudo que los artículos *B*, etc.). Esto también permite equilibrar la carga de trabajo del personal.
2. Pueden ordenarse numerosos artículos de manera conjunta desde los mismos orígenes del vendedor.

3. Los artículos solicitados tienen efecto significativo sobre la salida de producción de la planta de suministros, y lo deseable es la posibilidad de pronosticar el pedido.
4. A veces pueden tenerse ahorros significativos en la transportación cuando se solicitan diferentes artículos al mismo tiempo.[9]

Control de artículo único

El modelo de revisión periódica es muy parecido al modelo de punto de reorden bajo condiciones de demanda incierta. Sin embargo, una diferencia importante en el modelo de revisión periódica es que tiene que protegerse frente a las fluctuaciones de la demanda durante el intervalo de pedido y del tiempo de entrega, puesto que sólo son importantes las fluctuaciones de la demanda durante el tiempo de entrega en el momento de calcular las existencias de seguridad usando el método de punto de reorden. Esto hace que el modelo de revisión periódica sea más complejo de formular con precisión que el modelo de punto de reorden, aunque una solución aproximada dará respuestas razonables. Sería razonable una solución aproximada para el control de inventarios, dado que la curva del costo total por lo general tiene un mínimo aceptable tal, que las ligeras desviaciones de los valores óptimos de las variables de la política provocan sólo pequeños cambios en el costo total.

El control de revisión periódica opera como se muestra en la figura 9-13. Esto es, el nivel de inventario para un artículo es auditado a intervalos predeterminados *(T).* La cantidad por colocar en un pedido es la diferencia entre una cantidad máxima (*M*) y la cantidad disponible en el momento de la revisión. Por lo tanto, el inventario se controla estableciendo T^* y M^*.

Una buena aproximación para el intervalo de revisión óptima comienza con el modelo de control básico de inventario. Esto es,

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{IC}}$$

y el intervalo de revisión es

$$T^* = \frac{\text{Cantidad de pedido}}{\text{Demanda anual}} = \frac{Q^*}{D}$$

El intervalo del pedido también puede asignarse a un valor en particular que se ajuste mejor a las prácticas de la empresa. Por supuesto, esto no asegura, necesariamente, una política óptima.

Después, construimos la distribución de la demanda en intervalos de un pedido más el tiempo de entrega [$DD(T^* + TE)$], como se muestra en la figura 9-14. El punto donde la probabilidad de que se produzca falta de existencias durante el periodo de protección ($1 - P$) es igual al área debajo de la curva de distribución normal, es el punto de nivel máximo (M^*). Este punto puede calcularse como

$$M^* = d(T^* + TE) + z(s'_d) \qquad \textbf{(9-20)}$$

donde $d(T^* + TE)$ es el punto medio de la distribución $DD(T^* + TE)$, d es la tasa promedio de demanda diaria, y s'_d es la desviación estándar de la distribución $DD(T^* + TE)$. Esta desviación estándar se calcula ahora como

[9] Lynn E. Gill, George Isoma, Joel L. Sutherland, "Inventory and Physical Distribution Management", en James F. Robeson y Robert G. House (eds.), *The Distribution Handbook* (Nueva York: The Free Press, 1985), pág. 673.

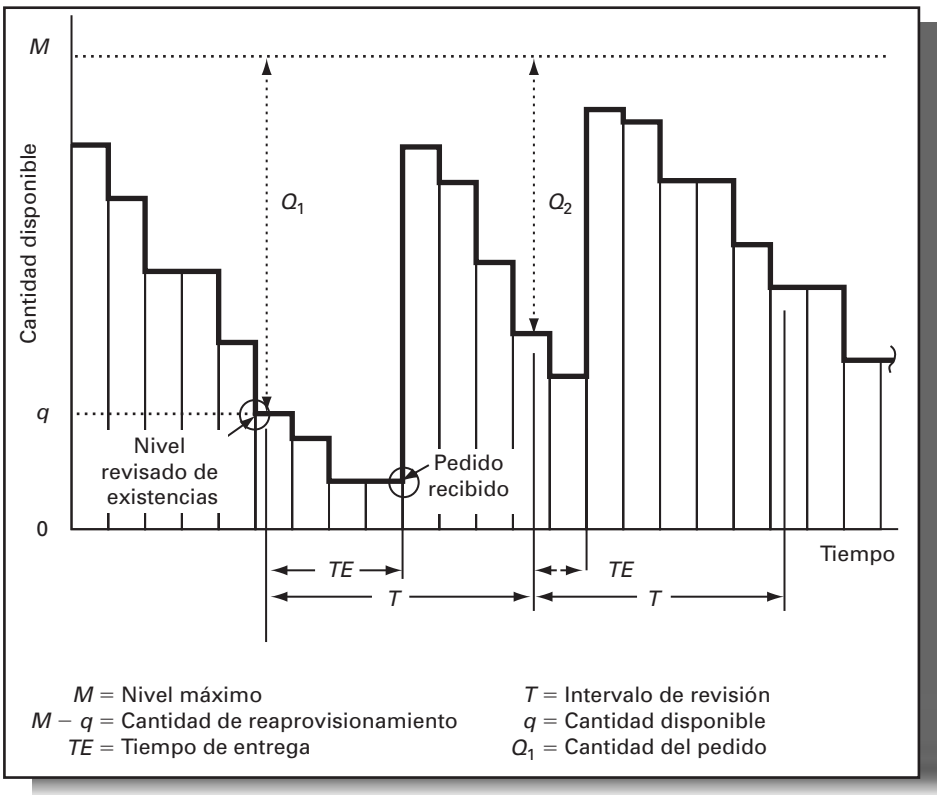
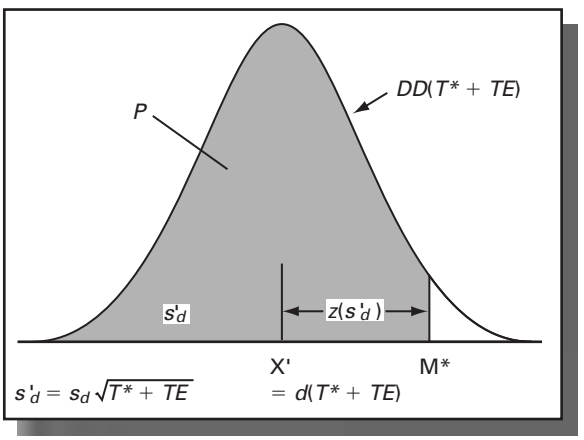


Figura 9-13 Control de inventario de revisión periódica con incertidumbre para un artículo.

Figura 9-14
Distribución de la demanda sobre el intervalo de pedido más el tiempo de entrega para el método de control de inventarios de revisión periódica.



$$s'_d = s_d\sqrt{T^* + TE} \tag{9-21}$$

donde se conoce con seguridad el tiempo de entrega.

El nivel de inventario promedio se halla a partir de

$$AIL = \frac{dT^*}{2} + z(s'_d) \tag{9-22}$$

y el costo total pertinente se calcula con la misma fórmula que bajo el método de punto de reorden, es decir, la ecuación (9-14).

Ejemplo

Usemos los datos del problema de la barra separadora, pero ahora desarrollaremos una política de revisión periódica.

Hallar T^* y M^* La cantidad óptima de pedido es la misma que bajo la política de punto de reorden, u 11,008 unidades. El intervalo de pedido es

$$T^* = \frac{Q^*}{d} = \frac{11,008}{11,107} = 0.991, \text{ o 1 mes}$$

Entonces, la desviación estándar de la demanda durante el periodo de revisión más el tiempo de entrega es

$$s'_d = s_d\sqrt{T^* + TE} = 3,099\sqrt{0.991 + 1.5} = 4,891 \text{ unidades}$$

El nivel máximo para $P = 0.75$ es

$$\begin{aligned} M^* &= d(T^* + TE) + z(s'_d) \\ &= 11,107(0.991 + 1.5) + 0.67(4,891) \\ &= 30,945 \text{ unidades} \end{aligned}$$

La política de inventario es revisar el nivel de inventario cada mes y establecer un pedido de reaprovisionamiento por la diferencia entre la cantidad disponible y 30,945 unidades.

Nivel promedio de inventario De esta política de inventario se puede esperar que se produzca un nivel de inventario promedio de

$$AIL = \frac{dT^*}{2} + z(s'_d) = \frac{11,107(0.99)}{2} + 0.67(4,891) = 8,780 \text{ unidades}$$

Costo total El costo total pertinente según la ecuación (9-14) es

$$\begin{aligned} TC &= 121.08 + 121.09 + 0.20(0.11)(0.67)(4,891) + \frac{11,107(12)}{11,008}(0.01)(4,891)(0.150) \\ &= 121.08 + 121.09 + 72.09 + 88.83 = \$403.09 \end{aligned}$$

Fíjese en el costo anual ligeramente más alto ($367.03 contra $403.09) para la política de revisión periódica comparado con la política de punto de reorden.

Nivel de servicio El nivel de servicio (tasa de disponibilidad del artículo) alcanzado según la ecuación (9-15) es

$$SL = 1 - \frac{4{,}891(0.150)}{11{,}008} = 0.933$$

Nota: Cuando se usa este método para determinar el nivel de servicio (tasa de disponibilidad) en sistemas periódicos de inventarios, los investigadores advierten que las estimaciones precisas se logran cuando la tasa de disponibilidad está por encima de 90% y la variabilidad de la demanda es baja.[10]

Pedidos conjuntos

Tanto el modelo de punto de reorden como el de revisión periódica comentados hasta aquí han sido para artículos únicos. Esto supone que cada artículo en el inventario se controla independientemente de los otros. En muchos casos, ésta no es la mejor práctica dado que pueden comprarse múltiples artículos al mismo proveedor o pueden producirse al mismo tiempo y en la misma ubicación. Pedir múltiples artículos al mismo tiempo y en el mismo pedido puede dar como resultado ganancias económicas, como calificar para descuentos por precio y cantidad o satisfacer las cantidades mínimas del vendedor, de la compañía de transportes o de producción, de manera que la política de inventario debería reflejar pedidos conjuntos. Una política de inventario de pedido conjunto implica determinar un tiempo de revisión del inventario común para todos los artículos pedidos conjuntamente, y luego hallar el nivel máximo de cada artículo *(M*)* según se impone a partir de sus costos y de su nivel de servicio particulares.

El tiempo de revisión común para artículos pedidos conjuntamente es

$$T^* = \sqrt{\frac{2(O + \sum_i S_i)}{I\sum_i C_i D_i}} \qquad \textbf{(9-23)}$$

donde O es el costo común de procurar un pedido y el subíndice i se refiere a un artículo en particular. El nivel máximo para cada artículo es

$$M_i^* = d_i(T^* + TE) + z_i(s'_d)_i \qquad \textbf{(9-24)}$$

El costo pertinente total es

Costo total = Costo de pedido + costo de manejo de las existencias regulares + costo de manejo de las existencias de seguridad + *stock* de falta de existencias

$$TC = \frac{O + \sum_i S_i}{T} + \frac{TI\sum_i C_i D_i}{2} + I\sum_i C_i z_i (s'_d)_i + \frac{1}{T}\sum_i k_i (s'_d)_i (E_{(z)})_i \qquad \textbf{(9-25)}$$

Se usará un ejemplo con sólo dos artículos pedidos conjuntamente. Usar más artículos aumenta innecesariamente los cálculos.

[10] M. Eric Johnson, Hau L. Lee, Tom Davis, Robert Hall, "Expressions for Item Fill Rates in Periodic Inventory Systems", *Naval Research Logistics*, Vol. 42 (1995), págs. 57-80.

Ejemplo

El mismo vendedor tiene que pedir dos artículos en forma conjunta. Se dispone de los siguientes datos:

	Artículo	
	A	B
Pronóstico de la demanda, en unidades/día	25	50
Error del pronóstico, en unidades/día	7	11
Tiempo de entrega, en días	14	14
Costo de manejo de inventarios, %/año	30	30
Costo de adquisición, en dólares/pedido/artículo, con un costo común de, en dólares/pedido	10 30	10
Probabilidad de tener existencias durante el ciclo de pedido más el tiempo de entrega	70%	75%
Valor del producto, en dólares/unidad	150	75
Costo de falta de existencias, en dólares/unidad	10	15
Días de venta por año	365	365

Tiempo de revisión El tiempo común de revisión para estos artículos según la ecuación (9-23) es

$$T^* = \sqrt{\frac{2[30 + (10 + 10)]}{[0.30/365][150(25) + 75(50)]}} = 4.03, \text{ o 4 días}$$

Observe que hemos tenido cuidado para hacer que la demanda y el costo de manejo concuerden en el mismo periodo.

Nivel máximo De la ecuación (9-24), puede hallarse la cantidad máxima de pedido para el artículo *A*. Primero,

$$(s'_d)_A = (s_d)_A\sqrt{T^* + TE} = 7\sqrt{4 + 14} = 29.70 \text{ unidades}$$

Luego para $z_{p = 0.70} = 0.52$ (véase Apéndice A), M_A^* es

$$M_A^* = 25(4 + 14) + 0.52(29.70) = 465 \text{ unidades}$$

El nivel máximo para el artículo *B* puede hallarse de manera similar. Primero,

$$(s'_d)_B = 11\sqrt{4 + 14} = 46.67 \text{ unidades}$$

Luego, para $z_{P = 0.75}$, $= 0.67$, M_B^* es

$$M_B^* = 50(4 + 14) + 0.67(46.67) = 931 \text{ unidades}$$

Nivel promedio de inventario El nivel promedio de inventario para el artículo *A* según la ecuación (9-22) es

$$AIL_A = 25\frac{4}{2} + 0.52(29.70) = 65 \text{ unidades}$$

Y para el artículo *B* es

$$AIL_B = 50\frac{4}{2} + 0.67(46.67) = 131 \text{ unidades}$$

Costo total pertinente Usando la ecuación (9-25), el costo total anual para los artículos *A* y *B* es

$$\begin{aligned} TC &= \frac{30 + 2(10)}{4/365} + \frac{[4/365][0.30][150(25) + 75(50)][365]}{2} \\ &\quad + 0.30[150(0.52)(29.70) + 75(0.67)(46.67)] \\ &\quad + \frac{1}{4/365}[10(29.70)(0.1917) + 15(46.67)(0.1503)] \\ &= 4{,}563 + 4{,}500 + 1{,}399 + 14{,}796 \\ &= \$25{,}258 \text{ por año} \end{aligned}$$

Nivel de servicio El nivel de servicio logrado realmente para el artículo *A* según la ecuación (9-15) es

$$SL_A = 1 - \frac{29.70(0.1917)}{Q^*}$$

Aplicando un poco de álgebra a la ecuación (9-8), $Q^* = T^* d = 4.03(25) = 101$. Así que,

$$SL_A = 1 - \frac{29.70(0.1917)}{101} = 0.944$$

Para el artículo *B*,

$$SL_B = 1 - \frac{46.67(0.1503)}{4.03(50)} = 0.9665$$

Métodos prácticos de control de inventarios de demanda

Los modelos comentados hasta aquí sirven como base teórica para los métodos de control de inventarios hallados en la práctica. Se pueden dar algunos ejemplos realistas.

Sistema Mín-Máx

El sistema mín-máx de control de inventarios tal vez sea el más popular de todos los procedimientos de control de inventarios de demanda. Históricamente, se ha puesto en práctica usando procedimientos de control manual y mantenimiento de registros por *tarjeta de mayor* (sistema Kardex), pero se halla también en muchos procedimientos de cálculo de control de inventarios. En la figura 9-15 se muestra un ejemplo de tal mantenimiento de registros y control.

Figura 9-15 Control de inventario Mín-Máx usando una tarjeta de registro Kardex para artículos de papel estándar de un distribuidor de suministros para oficinas.

Fecha	En/ cliente	Ventas	Dis- ponible	Fecha	En/ cliente	Ventas	Dis- ponible	Fecha	En/ cliente	Ventas	Dis- ponible
10/26	Bal Fwd		80,500	2/2	Copies	50,000	35,000	3/30	Sup Meats	25,000	20,000
10/26	100M		180,500	2/5	Bel-Gar	5,000	30,000	3/30	Copies	50	19,950
10/30	Progression	20,000	160,500	2/6	Bel-Gar	15,000	15,000	3/30	Ptrs Dvl	5,000	14,950
10/30	Ogleby	25,000	135,500	2/6	Superior	25,000	0 *	3/30	Belmont	10,000	4,950
11/2	Mid Ross	15,000	120,500	2/6	Unt Sply	15,000	0 *	4/2	Berea Prtg	4,950	0
11/9	Unt Sply	50,000	70,500	2/6	Berea Prtg	15,000	0 *	4/2	Berea Prtg	15,050	0 *
11/29	Berea Lit	25,000	45,500	2/8	Sagamore	5,000	0 *	4/9	REM	500	0 *
12/1	Dol Fed	10,000	35,500	2/14	100M		100,000	4/12	Mid Ross	5,000	0 *
12/13	Card Fed	20,000	15,500	2/15	50M		150,000	5/7	Ohio Ost	5,000	0 *
12/14	Belmont	15,000	500	2/16	Bel-Gar	5,000	145,000	5/8	Inkspots	5,000	0 *
12/15	Shkr Sav	5,000	500 *	2/21	Bel-Gar	15,000	130,000	5/8	Prts Dvl	2,500	0 *
1/8	BFK	500	0	2/26	Inkspot	5,000	125,000	5/11	100M		100,000
1/8	100M		100,000	2/27	Lcl 25UAW	50,000	75,000	5/14	BVR	5,000	95,000
1/8	Card Fed	30,000	70,000	2/28	Ptrs Dvl	2,500	72,500	5/15	Guswold	10,000	85,000
1/9	Pt of View	10,000	60,000	2/28	Shkr Sav	25,000	47,500	5/16	ESB	15,000	70,000
1/17	Am Safety	5,000	55,000	3/1	Copies	35,000	12,500	5/16	Superior	50,000	20,000
1/23	Foster	15,000	40,000	3/2	Untd Tor	10,000	2,500	5/16	J Stephen	5,000	15,000
1/24	Gib Prtg	5,000	35,000	3/8	Sagamore	2,500	0	5/16	Am Aster	15,000	0 *
1/26	Bel-Gar	5,000	30,000	3/8	Sagamore	12,500	0 *	5/16	Am Aster	10,000	0 *
1/26	Copies	20,000	10,000	3/12	150M		150,000	5/22	Sagamore	15,000	0 *
1/29	Slvr Lake	5,000	5,000	3/12	Untd Tor	40,000	110,000	**Codif.** 21200			
1/29	100 M		105,000	3/12	Preston	50,000	60,000	**Costo M base**	**Fecha**	**Mín**	125M
2/2	Sagamore	20,000	85,000	3/20	Midland	15,000	45,000	2.64	4/2	**Máx**	250M

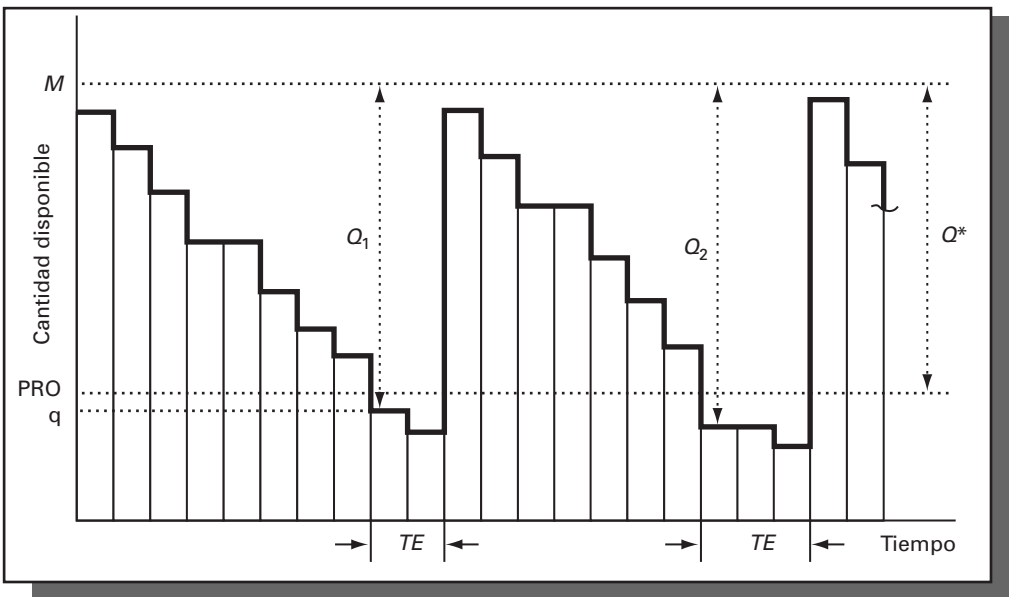
Tamaño	M/peso	Bases	Grano	Color	Acabado	Grado	Ubicación	Ctn. rastra cont.	Att.
$8\frac{1}{2}$ x 14	12.72	20	L	blanco	RmSeal	Bond de conve.	F 14	5M	

* No hay existencias o son insuficientes para satisfacer la demanda.

El procedimiento mín-máx de control de inventarios es una variante del modelo de punto de reorden; sin embargo, hay dos diferencias. Según la figura 9-16 vemos que, cuando se coloca un pedido se hace por la cantidad que determina la diferencia entre la cantidad objetivo, *M* (nivel máximo) y la cantidad disponible, *q*, en el momento en el que el nivel de inventario alcanza el punto de reorden. No confundamos este control mín-máx con el método de revisión periódica. El nivel máx., *M*, simplemente es la cantidad de punto de reorden *(PRO) más* la cantidad económica de pedido *(Q*)* hallado por el modelo de punto de reorden. La cantidad de reorden no siempre es la misma, porque el monto de la cantidad disponible que cae por debajo del punto de reorden se añade a *Q**. Este monto extra es necesario, dado que el nivel de inventario con frecuencia desciende en una cantidad mayor a una unidad, debido a que, entre las actualizaciones de registros, se solicitan múltiples unidades del artículo desde el inventario. *Q** y *PRO* son valores aproximados del sistema de punto de reorden, como se describió previamente. Aunque se dispone de un procedimiento de cálculo exacto para un control mín-máx,[11] el resultado de esta valoración aproximada es un costo total de sólo el 3.5% por encima del óptimo, por término medio.[12]

La tarjeta Kardex mostrada en la figura 9-15 es un registro de las transacciones para un grado particular de papel bond vendido por un distribuidor de suministros para oficinas. Vea los valores mín y máx en la esquina inferior derecha de la tarjeta. Cuando la cantidad disponible desciende a 125,000 unidades, se debe colocar un pedido para 250,000 – 125,000 = 125,000 unidades. Fíjese que, en el registro, la cantidad de reorden no son los 125,000 esperados. ¿Por qué? La compañía está pidiendo este artículo conjuntamente con otros des-

Figura 9-16 Sistema Mín-Máx de control de inventarios, variante del sistema de punto de reorden.



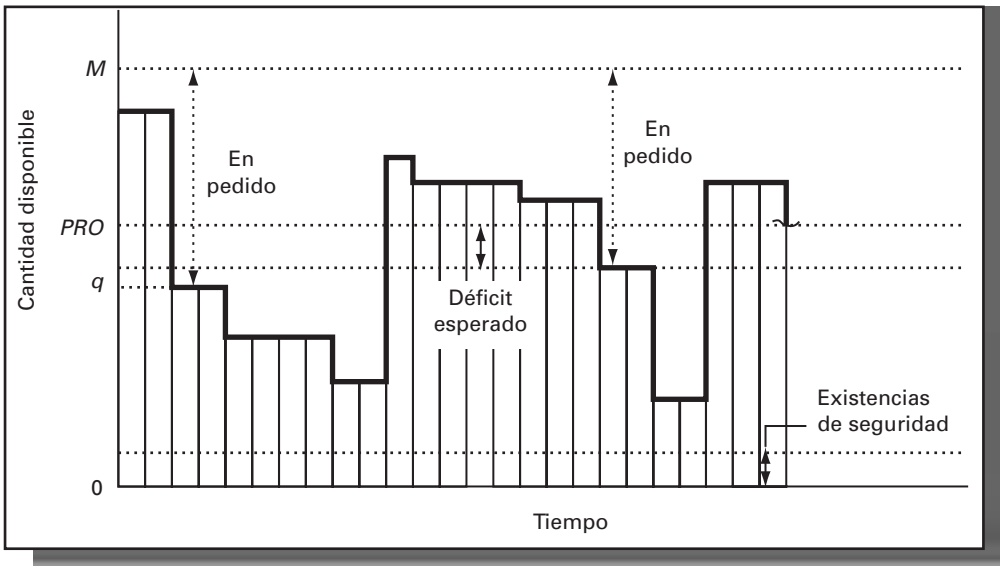
[11] Rein Peterson, Edward Silvers, *Decision Systems for Inventory Management and Production Planning* (Nueva York, John Wiley & Sons, 1979), págs. 540-543.
[12] B. Archibald, "Continuous Review (s,S) Policies for Discrete Compound Poisson Demand Processes" (tesis doctoral sin publicar, University of Waterloo, 1976).

de la misma fábrica de papel. Normalmente se requieren los tamaños mínimos de pedidos, de tal forma que cuando un artículo alcanza su punto de reorden, el pedido conjunto pudo haberse "completado" con otros artículos que aún no han alcanzado su *PRO*. De esta manera, la compañía fuerza a un artículo único a controlar el punto de reorden para operar en un medio de pedidos conjuntos.

Aunque no necesariamente mejor que justo a tiempo o la respuesta rápida, la valoración mín-máx para el control de inventarios es un método apropiado para usarse cuando la demanda es irregular o errática. La demanda irregular a menudo se relaciona con artículos de bajo movimiento, pero no está necesariamente limitada a ellos. En la actualidad, la característica de la demanda irregular puede verse en más de 50% de los artículos de las líneas de productos de muchas empresas. Si utilizamos lo que hemos aprendido, la valoración mín-máx puede modificarse ligeramente de la siguiente manera, para aplicarse a artículos con demanda irregular:

1. Pronosticar la demanda promediando, simplemente, la demanda por una duración de al menos 30 periodos (si toda esa información está disponible). Calcular la desviación estándar de la demanda sobre esos mismos periodos. Si la desviación estándar es mayor que la demanda promedio, se dice que la demanda es desproporcionada y se procede al paso siguiente.
2. Calcular la cantidad de pedido en cualquiera de las formas apropiadas, tal y como fueron comentadas previamente.
3. Dado que la cantidad disponible puede caer significativamente por debajo del punto de reorden, en el momento en que se hace un pedido, ajustamos el *PRO* para compensarlo. Es decir, además de la demanda durante el tiempo de entrega más las existencias de seguridad que por lo regular conforman el *PRO*, ahora añadimos el *déficit esperado* para el *PRO*, que es la cantidad promedio a la que la cantidad disponible es probable que caiga antes de que se haga el pedido de reaprovisionamiento. Véase la figura 9-17.

Figura 9-17 Control de inventarios Mín-Máx bajo demanda irregular.



4. Aproximar el déficit esperado (ventas promedio del periodo) como la mitad de la cantidad inicial y final disponible entre las actualizaciones de los registros de las cantidades disponibles.
5. Fijar el nivel máximo como la cantidad *PRO más* la cantidad de pedido *menos* el déficit esperado.
6. Ejecutar el sistema de control mín-máx de la manera normal, tal y como se describió previamente. Es decir, cuando el nivel efectivo de inventario caiga a la cantidad de *PRO*, hacer un pedido por una cantidad igual a la diferencia entre el nivel máximo (*M**) y la cantidad disponible *(q).*

Ejemplo

Los requerimientos semanales de un artículo en un inventario muestran una tasa de demanda $d = 100$ unidades y una desviación estándar $s_d = 100$ unidades. El artículo cuesta \$1.45, los costos de adquisición son \$12 por pedido, los costos de manejo anuales son de 25% y el tiempo de entrega del pedido es de una semana. La probabilidad de tener existencias durante el tiempo de entrega tiene que ser al menos de 85%. La cantidad disponible se actualiza diariamente, y la cantidad promedio de ventas diarias es de 10 unidades, donde una aproximación para el déficit esperado es $ED = 10$ unidades.

Dado que $s_d \geq d$, se cree que el artículo puede tener un patrón de demanda irregular. La cantidad de pedido puede hallarse como

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{IC}} = \sqrt{\frac{2(100)(52)(12)}{0.25(1.45)}} = 587 \text{ unidades}$$

PRO es

$$PRO = dTE + z(s'_d) + ED = 100(1) + 1.04(10) + 10 = 214 \text{ unidades}$$

donde

$$z_{@0.85} = 1.04 \text{ del apéndice A}$$

$$s'_d = s_d\sqrt{TE} = 100\sqrt{1} = 100 \text{ unidades}$$

El nivel máximo es

$$M^* = PRO + Q^* - ED = 224 + 587 - 10 = 801 \text{ unidades}$$

Muchas veces hay razones específicas por las cuales ocurre esta desproporción. Los incrementos ocasionales de la alta demanda de los clientes pueden predecirse con un alto grado de precisión. En consecuencia, puede evitarse una buena cantidad de inventario. R.G. Brown ilustra en forma excelente esta idea.

Ejemplo

En la armada de Estados Unidos había unos anillos O de sellamiento usados en los tubos de las calderas de una clase particular de portaaviones. La historia del periodo de demanda se veía algo así como 0 0 1 3 2 0 0 1 307 0 1 0 0 4 3 5 307 0 3 1 0 0 3 307. . . La demanda, cier-

tamente, parecía ser irregular. Sin embargo, la mayor parte de la demanda estaba en dígitos sencillos, con una demanda ocasional de 307 piezas. Esta gran demanda ocurría cuando se llevaba a cabo una reparación general en algún astillero, y cada reparación general se programaba con dos años de anticipación.[13]

Existencias a demanda

Algunas veces las compañías prefieren métodos que son inherentemente sencillos de entender y fáciles de llevar a cabo. Por lo general, tales métodos pueden suministrar mejor control si se siguen en forma diligente, comparados con los métodos de control estadísticos más elegantes. El método de almacenamiento para la demanda es una de dichas valoraciones prácticas para el manejo de inventarios a demanda.

El método de existencias a demanda puede describirse como sigue. En un momento dado, se hace un pronóstico para la tasa de demanda del artículo. El pronóstico se multiplica por un factor que representa el intervalo de revisión, el tiempo de entrega para reaprovisionamiento y un incremento de tiempo que representa la incertidumbre en el pronóstico de la demanda y el tiempo de entrega para obtener una cantidad objetivo. La cantidad disponible se anota en el momento del pronóstico y se hace un pedido por la diferencia entre la cantidad objetivo y la cantidad disponible. El control de inventario a demanda es un tipo de sistema de revisión periódica.

Ejemplo

Un gerente de materiales para una gran compañía de seguros hace un pronóstico cada mes de los suministros de papel necesarios para el personal de oficina. Para un mes en particular, el uso de papel de la máquina copiadora se prevé que sea de 2,000 resmas. Los registros de inventario muestran que actualmente hay 750 resmas disponibles, ninguna en pedido y ninguna comprometida para los usuarios. Se tarda una semana en recibir un pedido hecho al distribuidor del papel. Al gerente le gustaría tener disponible el equivalente a una semana extra de demanda como inventario de seguridad.

La demanda pronosticada se multiplica por un factor de 6/4 que se calcula así:

Pronóstico/intervalo de revisión	4 semanas
Tiempo de entrega	1 semana
Inventario de seguridad	1 semana
Total	6 semanas

Dado que el pronóstico representa una demanda de cuatro semanas, el tiempo total se divide entre el intervalo de pronóstico. La cantidad de pedido es 2,000 (6/4) – 750 = 2,250 resmas.

Control de ubicación múltiple, artículos múltiples

El problema del control de inventarios en la práctica es realmente a gran escala, a menudo involucrando cientos de productos localizados en numerosos puntos de abastecimiento que son atendidos por múltiples plantas. Pueden usarse diferentes modos de transportación para mover los productos entre las plantas y los puntos de abastecimiento. Aunque

[13] Brown, *Materials Management Systems,* pág. 250.

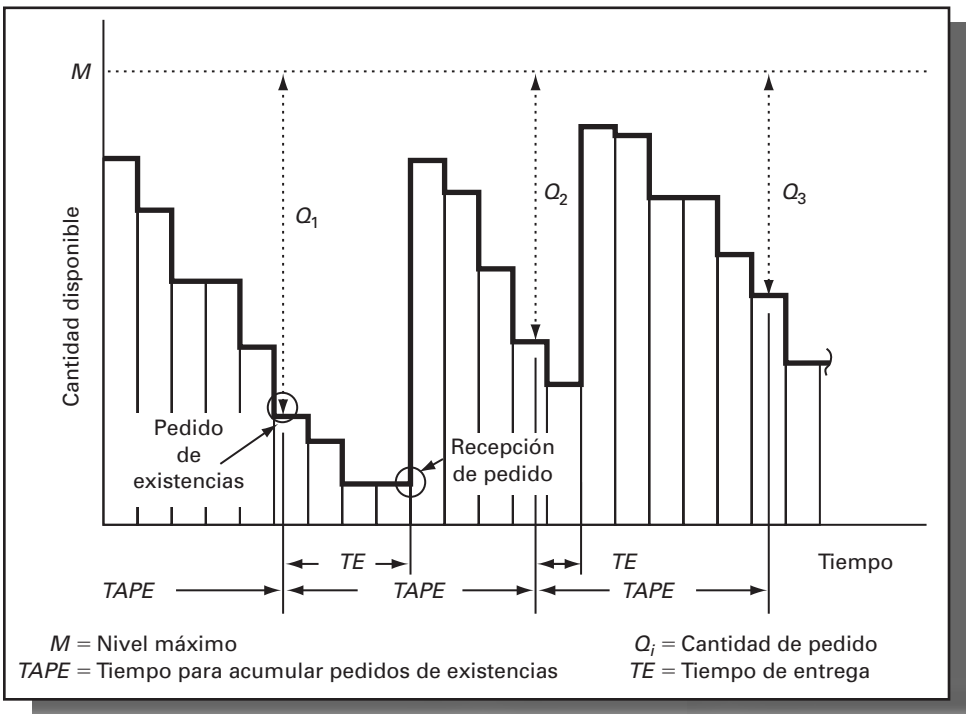
el control de inventarios puede manejarse como numerosos problemas de artículos únicos y ubicaciones únicas, puede usarse una valoración integrada para enfocarse en algunos temas económicos importantes, como enviar cantidades en camionadas completas o producir en tamaños económicos de lote. Considere cómo una compañía química aborda su problema de control de inventario.

Aplicación

Un fabricante de compuestos de limpieza industrial usados en restaurantes, hospitales, lavados de autos, fabricantes y escuelas vendía por todo el país más de 200 productos representados por más de 750 artículos de línea. Los artículos fueron almacenados en casi 40 almacenes, pero no todos los artículos eran almacenados en todos los almacenes. De las ventas de productos de jabón de $220 millones anuales, 70% era manejado a través del sistema de almacenamiento. Se desarrolló un sistema de control de inventarios computarizado para tratar de controlar los niveles de inventario de la manera que se muestra en la figura 9-18. Considere cómo funcionaba.

Cada artículo de un almacén era pronosticado sobre una base mensual utilizando ajuste exponencial. Los pronósticos fueron escalonados a lo largo de todo el mes para equilibrar la carga de trabajo en el sistema de cómputo. La cantidad de artículos disponibles según los registros computarizados de inventario de los almacenes se verificaba diariamente.

Figura 9-18 Control de un artículo en un sistema de control de inventarios de múltiples artículos y múltiples ubicaciones para una compañía de especialidades químicas.



Acumular una cantidad igual a un camión de carga fue la fuerza económica principal en el diseño del sistema de control de inventarios. Para todos los artículos en el almacén colectivamente, el tiempo para acumular pedidos de existencias *(TAPE)* se calculaba como el peso de un camión de carga dividido entre la tasa de demanda para los artículos almacenados. Usando este tiempo promedio de revisión se determinaba un nivel máximo para cada artículo.

Una vez al mes, cuando se hacía el pronóstico del artículo para un almacén y se comprobaba el nivel de existencias del artículo, se determinaba una suma de los déficit entre el nivel máximo del artículo y su cantidad disponible. Si las diferencias acumuladas eran mayores o iguales que lo de un camión de carga, se hacía un pedido de reaprovisionamiento en la planta de servicio. Sin embargo, aunque no había control preciso de cada artículo, se lograron economías importantes.

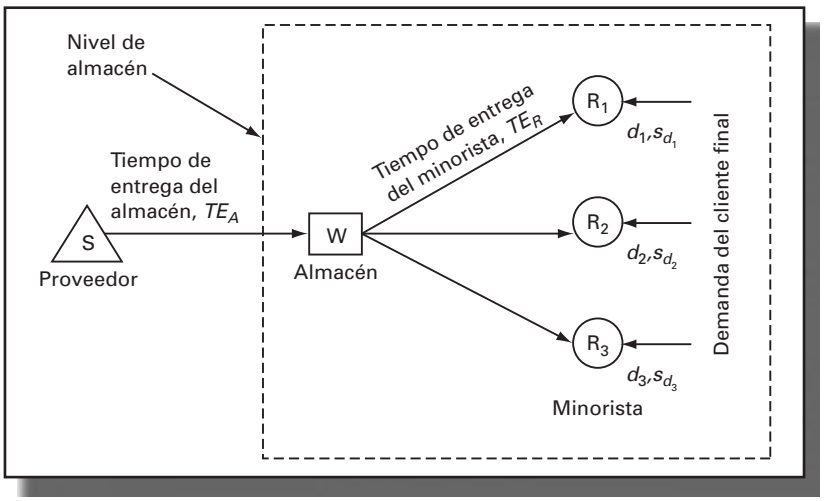
Había algunas reglas secundarias en el proceso de control que ayudaban a que funcionara sin sobresaltos. Primero, para evitar que se incluyeran cantidades muy pequeñas de un artículo en particular en un pedido, el déficit de un artículo tenía que ser más de 10% de su nivel máximo. Segundo, para prevenir que faltaran existencias de un artículo en un almacén, cuando no hubiera un déficit que llenara un camión, el gerente de inventario emitía un informe de bajas existencias, el cual mostraba que si continuaba la tasa actual de demanda, el artículo estaría fuera de *stock* antes de que llegara el siguiente envío esperado de reaprovisionamiento. Entonces el gerente podía tomar la decisión de reaprovisionar el artículo fuera de los procedimientos de petición normal, si así se deseaba. Tercero, los nuevos artículos en el almacén no eran pronosticados mediante ajuste exponencial sino hasta que hubieran acumulado al menos seis meses de historial de ventas. Los vendedores proporcionaban los pronósticos internos. Los informes sobre el estado de las existencias, de artículos agotados, pronósticos y envíos son ejemplos de los tipos de informes que este sistema puede producir.

Control multinivel

Recordemos la figura 9-1 en la que los inventarios se localizaban por todo el canal de suministros. Estos inventarios son extraordinariamente independientes unos de otros. Esto es, los inventarios del minorista están respaldados por los inventarios en sus almacenes de servicio. A su vez, los inventarios de los almacenes están respaldados por los inventarios en las plantas. Si se mantienen cantidades sustanciales de inventario en los almacenes de campo, entonces pueden necesitarse menos en el siguiente nivel inferior del canal (es decir, las tiendas minoristas) para mantener el mismo nivel general de disponibilidad de producto. Manejar los inventarios a través de *todo* el canal se vuelve un tema importante, antes que la administración en puntos de almacenamiento individuales e independientes.

El cálculo de un buen control de inventario multinivel se hace usando un sistema de control de existencias base. Las bases de este sistema sirven para planear el nivel de almacenamiento en la posición del inventario *más* el inventario de *todos* los niveles inferiores, de cualquier nivel en el canal de suministros. Es decir, planear el nivel de inventario para un escalón en particular no se determina a partir de la información de la demanda derivada sólo del nivel anterior, sino más bien de la demanda del cliente final. Hay menos variabilidad de la demanda para un nivel en particular cuando la demanda final puede usarse en un proceso de planeación de inventario en un nivel superior. La característica de la demanda por todo un canal de suministros es que cuanto más se aleja el nivel de los clientes finales, mayor es la desproporción de la demanda. La planeación de inventarios basada

Figura 9-19
Canal de suministros multinivel que ocurre frecuentemente.



sólo en pedidos desde el nivel anterior provoca más existencias de seguridad que si se planeara usando la demanda del cliente final.

Un simple canal de suministros de dos niveles podría ser como el mostrado para el canal de almacén-minorista de la figura 9-19. Los minoristas atienden a los clientes finales a partir de sus inventarios y el almacén reaprovisiona las existencias de los minoristas. En un sistema base de control de existencias, los niveles de inventario de los minoristas se controlan usando un método apropiado, como el control del punto de reorden. La información de la demanda para un minorista se deriva de los clientes finales en el territorio del minorista. La posición del inventario para un minorista es la cantidad disponible más la cantidad en pedido desde el almacén.

Para subir un nivel a partir de los minoristas (el nivel del almacén), la demanda para propósitos de planeación se deriva de agregar la demanda de los clientes finales de todos los minoristas. La posición del inventario para el nivel del almacén, pero no el almacén en sí mismo, es la suma del inventario en los minoristas más el inventario en el almacén y el inventario en tránsito (en pedido) hacia el almacén y desde éste. El punto y las cantidades de reorden se determinan por la posición del nivel del inventario, y no por la del almacén en sí mismo. El nivel promedio de abastecimiento en el almacén se halla restando los niveles de inventario promedio de los minoristas del nivel del inventario, asumiendo que el inventario en tránsito es insignificante.

El procedimiento del sistema base de existencias para la planeación de inventarios puede continuarse para niveles adicionales dentro de la cadena de suministros. Recuerde planear niveles de inventario para cualquier nivel basado en la demanda final de un artículo y no en los pedidos desde el nivel anterior.

Ejemplo

Supongamos una parte de una red de distribución que se ilustra en la figura 9-19. Los minoristas pronostican la demanda para sus clientes finales para sus territorios particulares. Para un artículo en especial, la demanda mensual de los minoristas (distribuida normalmente), se muestra en la tabla 9-5.

	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	PRO.	DESV. EST.
Minorista 1	218	188	225	217	176	187	221	212	210	203	188	185	202.5	16.8
Minorista 2	101	87	123	101	95	97	93	131	76	101	87	114	100.5	15.6
Minorista 3	268	296	321	312	301	294	285	305	289	303	324	332	302.5	18.0
Combinado	587	571	669	630	572	578	599	648	575	607	599	631	605.5	32.4

Tabla 9-5 Demanda típica mensual de minoristas y demanda combinada para el nivel del almacén

El artículo tiene un valor de C_R = \$10 por unidad a nivel minorista y C_W = \$5 por unidad a nivel almacén. Los costos de manejo son I = 20% anual. El costo por procesar un pedido de reaprovisionamiento para un minorista es S_R = \$40 por pedido y S_W = \$75 por pedido en el almacén. Los tiempos de entrega para los minoristas son todos de una semana (LT_R = 0.25 meses) y el tiempo de entrega para el almacén es de dos semanas (LT_W = 0.5 meses). Se usa una probabilidad de 90% de tener existencias durante el tiempo de entrega, tanto para el almacén como para los minoristas. Usando un método de control de inventario de punto de reorden, halle los puntos de reorden y las cantidades de pedido, tanto para los niveles de los minoristas como los del almacén. ¿Cuánto inventario se necesita en el almacén?

Primero, calculemos la política de inventario para cada minorista. Para el minorista 1, la cantidad de pedido *(Q)* es

$$Q_1 = \sqrt{\frac{2D_{R_1}S_R}{IC_R}} = \sqrt{\frac{2(202.5 \times 2)(40)}{0.20(10)}} = 311.8, \text{ o } 312 \text{ unidades}$$

El punto de reorden *(PRO)* es

$$ROP_1 = d_1 \times TE_R + zs_{d_1}\sqrt{TE_R} = 202.5 \times 0.25 + 1.28 \times 16.8\sqrt{0.25} = 61.38, \text{ o } 61 \text{ unidades}$$

El inventario promedio *(AIL)* es

$$AIL_1 = \frac{Q_1}{2} + zs_{d_1}\sqrt{LT_R} = \frac{311.8}{2} + 1.28 \times 16.8\sqrt{0.25} = 166.65, \text{ o } 167 \text{ unidades}$$

La regla del control de inventarios es: cuando el nivel de inventario en el minorista 1 cae a 61 unidades, se hace un pedido de reaprovisionamiento de 312 unidades.

Repetimos los cálculos anteriores para los otros dos minoristas. Los resultados se resumen en la tabla 9-6. El inventario en el nivel de los minoristas es de 167 + 120 + 202 = 489 unidades.

Después, calculamos la política de inventarios del almacén. Hallemos las propiedades de la demanda para el nivel del almacén, combinando la demanda de los minoristas, como se muestra en la tabla 9-5. La cantidad de pedido en el *nivel o escalón* de almacén es

$$Q_W = \sqrt{\frac{2D_W S_W}{IC_W}} = \sqrt{\frac{2(605.5 \times 12)(75)}{0.20(5)}} = 1,043.98, \text{ o } 1,044 \text{ unidades}$$

Tabla 9-6 Estadística de inventarios para minoristas

	Minorista 1	Minorista 2	Minorista 3
Cantidad de reorden, *Q*	312	220	381
Punto de reorden, *PRO*	61	35	87
Inventario promedio, *AIL*	167	120	202

el *PRO* es

$$ROP_W = d_W \times TE_W + zs_W\sqrt{TE_W} = 605.5 \times 0.5 + 1.28 \times 32.4\sqrt{0.5} = 332.03, \text{ o } 332 \text{ unidades}$$

y el *AIL* para el nivel de almacén es

$$AIL_W = \frac{Q_W}{2} + zs_W\sqrt{TE_W} = \frac{1,043.98}{2} + 1.28 \times 32.4\sqrt{0.5} = 551.32, \text{ o } 551 \text{ unidades}$$

Sin embargo, el inventario esperado en el almacén es el inventario del nivel del almacén menos el inventario del nivel de los minoristas, o 551 – 489 = 62 unidades. Se supone que no hay inventario en tránsito.

La política de control de inventario de almacén es monitorear el inventario del nivel del almacén, que es el total del inventario en cada minorista, más el inventario mantenido en el almacén, más el inventario pedido por el almacén, y más el inventario pedido por las tiendas minoristas menos cualquier inventario comprometido con los clientes finales, pero sin deducir aún del inventario de los minoristas. Cuando esta posición del nivel de los inventarios cae a 332 unidades, se hace un pedido al proveedor por 1,044 unidades.

Cuando los problemas multinivel llegan a ser demasiado complejos para el tipo anterior de análisis matemáticos (en especial cuando están implicados más de dos niveles), una alternativa es la simulación por computadora. Simulaciones de este tipo se construyen a partir de lenguajes de simulación general, como SLAM, DYNAMO o SIMSCRIPT, o pueden manejarse usando paquetes personalizados, como *L*ong *R*ange *E*nviromental *P*lanning *S*imulator (simulador de planeación ambiental de gran alcance, *LREPS)*[14] o el PIPELINE MANAGER.[15] El módulo SCSIM del software LOGWARE que se acompaña en este texto ilustra esta capacidad. La acción de estos simuladores es generar la demanda en el tiempo de manera similar a la que se experimenta realmente en el canal de operación. Se repiten los flujos de productos que tienen lugar para atender la demanda. Se observa el movimiento del producto a través del canal y se informan las estadísticas relacionadas con el movimiento del producto, los niveles de inventario, las faltas de existencias, las tasas de producción y los envíos de transporte. Pueden probarse políticas alternativas de inventario volviendo a efectuar la simulación con diferentes reglas de abastecimiento de inventario y niveles de servicio. Pueden entonces compararse los costos de las alternativas.

[14] Donald J. Bowersox, Omar K. Helferich, Edward J. Marien, Peter Gilmour, Michael L. Lawrence, Fred W. Morgan, Jr., Richard T. Rogers, *Dynamic Simulation of Physical Distribution Systems* (East Lansing, MI: Division of Research, Graduate School of Business Administration, Michigan State University, 1972).
[15] Desarrollado por Arthur Andersen & Company.

INVENTARIOS EN TRÁNSITO

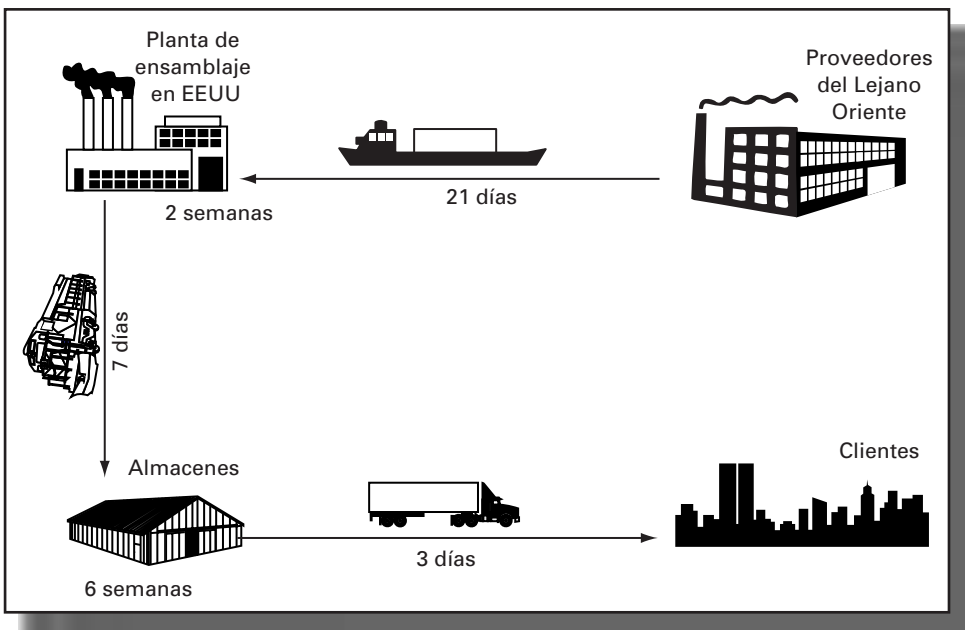
Estos inventarios consisten en existencias en tránsito que figuran en los equipos de transportación que se *mueven* entre los puntos donde se mantienen los inventarios. Su manejo es sólo cuestión de controlar el tiempo en tránsito, principalmente mediante la selección del servicio de transporte. Los inventarios en tránsito pueden ser sorprendentemente altos, y un buen manejo puede producir impresionantes reducciones en los costos.

Ejemplo

Un fabricante de piezas para automóviles tiene operaciones de ensamblaje en Estados Unidos. Compra componentes a compañías localizadas en la Cuenca del Pacífico y las distribuye principalmente en Estados Unidos. En la figura 9-20, se muestra un diagrama del canal de suministros. El valor unitario promedio del producto que fluye en el canal es de $50. Las ventas son de 1,000 unidades al día. El costo de manejo es de 30% anual. Los inventarios actuales en tránsito pueden resumirse así:

Conducto directo	Días	Inventario en tránsito
De los proveedores a la fábrica	21	21,000 unidades
En proceso en la fábrica	14	—
De la fábrica a los almacenes	7	7,000
Almacenamiento en la bodega	42	—
Del almacén a los clientes	3	3,000
Totales	87	31,000 unidades

Figura 9-20 Canal de suministros típico que muestra tiempos en tránsito.



El valor total del inventario en tránsito es 50 × 31,000 = $1'550,000 y un costo de manejo de 0.30 × 1'550,000 = $465,000 al año.

Si se usara carga aérea, el tiempo de tránsito entre los vendedores del Lejano Oriente y la fábrica podría reducirse cuatro días, la mayor parte de los cuales es el manejo en tierra. Esto ahorraría 21 – 4 = 17 días en el camino, $50 × 17,000 = $850,000 en valor de inventario, y 0.30× 850,000 = $255,000 en cargos anuales de manejo. Este posible ahorro del costo debería sopesarse ante el incremento de los costos que supone usar carga aérea.

Reducir el tiempo de tránsito promedio en la transmisión directa normalmente tiene un efecto coincidente de reducir también la variabilidad del tiempo de tránsito. Dado que el tiempo de tránsito es un componente importante en el tiempo total del pedido, las existencias de seguridad en los inventarios disminuirán, como beneficio indirecto de reducir la incertidumbre del tiempo de tránsito.

El costo anual de manejo de inventarios en tránsito asociado con un eslabón único en el canal de suministros se calcula según

$$\text{Costo de manejo de inventarios en tránsito} = \frac{ICDt}{365} \qquad \textbf{(9-26)}$$

donde

I = manejo anual para productos en tránsito, en %/año
C = valor del producto en el punto en tránsito en el canal de suministros, en dólares/unidad
D = demanda anual, en unidades
t = tiempo en tránsito, en días
365 = número de días calendario en un año

Note que I puede ser diferente para un punto de abastecimiento, dado que no necesita incluir los costos de operación asociados con el almacenamiento. Por otra parte, puede haber costos de operación para el transporte del producto en tránsito, en especial si se usa transportación privada. Los costos en C deberían ser los que corresponden por mantener el producto y no por transportarlo.

Ejemplo

Los automóviles son importados a Estados Unidos a través de Boston, Massachusetts, vía Emden, Alemania. El valor del automóvil en el puerto de salida en Alemania es de $9,000. El costo de manejo es principalmente el costo del capital destinado a los vehículos, o el 20% anual. El tiempo de navegación promedio a Estados Unidos es de 10 días. El costo de inventario en tránsito por vehículo se halla según $ICt/365 = (0.20)(9{,}000)(10)/365 = \$49.32$ por automóvil.

CONTROL AGREGADO DE INVENTARIOS

Con frecuencia, la alta gerencia está más interesada en la cantidad total de dinero destinada a los inventarios y a los niveles de servicio para amplios grupos de artículos que en el control de artículos individuales. Aunque la fijación cuidadosa de la política para cada artículo suministra un control preciso de los inventarios de artículos individuales, así como de inventarios tomados conjuntamente, el manejo a este nivel de detalle para los propósitos de planeación general, suele ser demasiado engorroso. Por lo tanto, los métodos que controlan colectivamente los artículos en grupos han tenido un lugar entre los procedimientos de control de inventarios. Las tasas de coeficientes de rotación, la clasificación de productos ABC, y la agrupación de riesgos son unos cuantos métodos usados para controlar inventarios agregados.

Coeficientes de rotación

Quizás el procedimiento de control agregado de inventarios más popular sea el llamado coeficiente de rotación. Es una relación entre las ventas anuales en inventario y la inversión promedio en el inventario durante el mismo periodo de ventas, donde las ventas y la inversión de inventarios son valuados en el nivel del canal de la logística, donde se mantienen los artículos. Es decir,

$$\text{Coeficiente de rotación} = \frac{\text{Ventas anuales a costo de inventario}}{\text{Inversión promedio de inventarios}} \qquad \textbf{(9-27)}$$

La popularidad de la medida indudablemente se debe a la disponibilidad inmediata de los datos (estados financieros de la compañía) y de la simplicidad de la medida en sí misma. Pueden especificarse diferentes coeficientes de rotación para distintas clases de productos del inventario o para todo el inventario. Como punto de referencia, los coeficientes de rotación de inventarios para fabricantes, mayoristas y minoristas son 9:1, 9:1 y 8:1, respectivamente.[16]

Especificando el coeficiente de rotación que debe lograrse se controla la inversión general del inventario relativa al nivel de ventas. Lo deseable es tener un cambio en las inversiones de inventarios conforme al nivel de ventas; sin embargo, usar el coeficiente de rotación provoca que los inventarios varíen de manera *directa* con las ventas. Esto es una desventaja, ya que normalmente esperamos que los inventarios aumenten en una tasa decreciente debido a economías de escala. ¡Hay que pagar un precio por la simplicidad!

Clasificación ABC de productos

Una práctica común en el control agregado de inventarios es diferenciar los productos en un número limitado de categorías, y después aplicar una política separada de control de inventarios para cada categoría. Esto tiene sentido dado que no todos los productos son de igual importancia para una empresa en términos de ventas, márgenes de beneficios, cuota de mercado o competitividad. Si se aplican en forma selectiva políticas de inventarios a estos diferentes grupos, pueden lograrse, con niveles más bajos de inventarios, los objetivos del servicio de inventarios, en vez de una política aplicada colectivamente a todos los productos.

Es bien conocido que las ventas de productos muestran un fenómeno del ciclo de vida donde las ventas comienzan con la introducción del producto con bajos niveles, se incrementan rápidamente en algún punto, se nivelan, y por último declinan. Los productos

[16] *Statistical Abstract of the United States:* 2001, págs. 623, 644, 657.

de una empresa normalmente están en varias etapas de sus ciclos de vida, y por lo tanto contribuyen de manera desproporcionada a las ventas y a las ganancias. Es decir, pueden estar contribuyendo unos pocos artículos con alta proporción en el volumen de ventas. Esta relación desproporcionada entre el porcentaje de los artículos en el inventario y el porcentaje de ventas se ha llamado en general "el principio 80/20", aunque rara vez es exactamente el 20% de los artículos de una línea de productos el que representa al 80% de las ventas. El principio 80-20 sirve como base para la clasificación *ABC* de los artículos. Los artículos *A* normalmente son los que se mueven rápido, los artículos *B* los que se mueven en término medio y los artículos *C* los que se mueven despacio. No hay una forma precisa para agrupar los artículos, si en una categoría o en otra, o incluso de determinar el número de categorías por usar. Sin embargo, clasificar los artículos por grado de ventas y luego dividirlos en unas cuantas categorías es una forma de comenzar. Algunos artículos se reasignan a otras categorías según su importancia. Los niveles de servicio de inventario se asignan luego a cada categoría. El desarrollo del esquema de la clasificación *ABC* de productos se comenta con más detalle en el capítulo 3.

Ejemplo

La Sorensen Research Company produce una línea limitada de productos de alta tecnología para uso hospitalario. Los productos principales son catéteres arteriales (INTRASET); equipos para apoyo de catéteres (REGUFLO) y sistemas de aspiración de fluidos (VACUFLO, COLLECTAL). Los datos de ventas anuales se resumen en la tabla 9-7.[17]

Tabla 9-7 Datos de ventas anuales de la Sorensen Research Company

	Número de unidades	Volumen en dólares	Tipo de producto
INTRASET	1,000,000	$ 2,500,000	Catéter
SUBCLAVIAN II	250,000	137,000	Catéter
SUBVLAVIAN	150,000	975,000	Catéter
JUGULAR II	300,000	300,000	Catéter
CATHASPEC	100,000	150,000	Catéter
IV-SET	700,000	1,000,000	Catéter
CENTRI-CATH	500,000	3,500,000	Catéter
IV-12	15,000	74,700	Catéter
CSP	1,000,000	750,000	Catéter
Manguito para baumanómetro	600,000	972,000	Apoyo para catéter
Tubos para baumanómetro	25,000	825,000	Apoyo para catéter
EZE-FLO	4,200	65,100	Apoyo para catéter
REGUFLO	1,000,000	5,000,000	Apoyo para catéter
TRUSET	2,850,000	7,115,000	Apoyo para catéter
INTRAVAL	10,000	8,300	Apoyo para catéter
VACUFLO	355,000	350,000	Aspirador de líq.
FRASCOS para recolección	40,000	54,800	Aspirador de líq.
SONDAS para recolección	393,000	727,000	Aspirador de líq.
	9,292,200	$24,503,900	

[17] Datos simulados según informes de la Sorensen Research Company, Harvard Business School Case 9-677-257, preparados bajo la dirección de Steven C. Wheelwright.

	Número de artículo	Porcentaje acum. de artículo	Vol. en dólares	Porcentaje acum.; en ventas	Clase art.
TRUSET	1	5.56%	$ 7,115,000	29.04%	A
REGUFLO	2	11.11	5,000,000	49.44	
CENTRI-CATH	3	16.67	3,500,000	63.72	
INTRASET	4	22.22	2,500,000	73.93	
IV-SET	5	27.78	1,000,000	78.01	
SUBVLAVIAN	6	33.33	975,000	81.99	B
Manguillo para baumanómetro	7	38.89	972,000	85.95	
Tubos para baumanómetro	8	44.44	825,000	89.32	
CSP	9	50.00	750,000	92.38	
COLLECTAL Lin.	10	55.56	727,000	95.35	
VACUFLO	11	61.11	350,000	96.78	
JUGULAR II	12	66.67	300,000	98.00	
CATHASPEC	13	72.22	150,000	98.61	C
SUBCLAVIAN II	14	77.78	137,000	99.17	
IV-12	15	83.33	74,700	99.48	
EZE-FLO	16	88.89	65,100	99.74	
COLLECTAL Can.	17	94.44	54,800	99.97	
INTRAVAL	18	100.00	8,300	100.00	
			$24,503,900		

Tabla 9-8 Artículos elegidos en ventas que utilizan orden descendente

Por razones de control de inventarios, supongamos que estos artículos se clasifican en tres grupos. Los artículos *A* han de representar aproximadamente el 10% superior, los artículos *B* habrán de ser el siguiente 40% y los artículos *C* serán el 50% restante. La tabla 9-7 está clasificada en orden descendente según las ventas en dólares de los artículos. Al calcular el porcentaje acumulativo de los artículos y el porcentaje acumulativo de las ventas en los datos elegidos da los resultados de la tabla 9-8:

Si analizamos con detalle, de arriba abajo, el porcentaje acumulativo de la columna de los artículos hasta alcanzar aproximadamente el 10% de los artículos que están acumulados, esto representará los artículos de la categoría *A*. Debido al pequeño número de artículos, no podemos hallar exactamente el 10%. Podemos elegir redondear hacia arriba. Sigue el punto de quiebre o de ruptura para los artículos *B*, que es donde el porcentaje acumulativo de los artículos es de 50%. Ahora podemos ver que los artículos *A*, u 11% de los artículos, representa el 49% de las ventas. Los artículos *B*, o 50% – 11% = 39% de los artículos equivale al 92% – 49% = 43% de las ventas. Los artículos *C*, que representan el 50% de los artículos, corresponden sólo a 100% – 92% = 8% de las ventas. Los niveles de servicio pueden fijarse para estas categorías, según la importancia de cada uno para la compañía y para sus clientes.

Agrupación de riesgos

La planeación agregada del nivel de inventario a menudo implica proyectar cómo cambiarán los niveles de inventario en los puntos de abastecimiento con respecto de los cambios en el número de ubicaciones de aprovisionamiento y sus puntos de salida o de produc-

ción. Al planear una red logística es común ampliar o reducir el número de puntos de abastecimiento para satisfacer el servicio al cliente o los objetivos de costos. Como el número de localizaciones se cambia, o incluso como las ventas se reasignan entre las ubicaciones existentes, el inventario en el sistema no permanece constante, debido al efecto de la agrupación de riesgos o de consolidación. La agrupación de riesgos sugiere que si los inventarios están consolidados en menos ubicaciones, sus niveles se reducirán. Ampliar el número de ubicaciones de inventarios tiene el efecto contrario. Los niveles del sistema de inventarios son resultado de equilibrar las existencias regulares, que son afectadas por la política de inventarios, y las existencias de seguridad, que son afectadas por el grado de incertidumbre en la demanda y el tiempo de entrega.

Ilustración

Supongamos que un producto es aprovisionado en dos almacenes. La demanda promedio mensual para el territorio del almacén 1 es $d_1 = 41$ unidades con una desviación estándar $s_{d1} = 11$ unidades al mes. Y para el almacén 2, $d_2 = 67$ y $s_{d2} = 9$. Las cantidades de reaprovisionamiento de inventario se determinan usando la fórmula de cantidad económica de pedido. El tiempo de entrega de reaprovisionamiento para ambos almacenes es de 0.5 meses, y el valor del producto es de $75 por unidad. El costo de reaprovisionamiento del pedido es de $50 y el costo de manejo de inventario es de 2% mensual. La probabilidad de tener existencias durante el tiempo de entrega se fija en 95%. ¿Qué beneficio de inventario surgiría de consolidar los inventarios en un solo almacén?

Primero calculamos las existencias regular y de seguridad en los dos almacenes.

Existencias regulares. Calculemos la cantidad promedio de existencias regulares.

$$RS = \frac{Q}{2} = \frac{\sqrt{\frac{2dS}{IC}}}{2}$$

$$RS_1 = \frac{\sqrt{\frac{2(41)(50)}{0.02(75)}}}{2} = 26 \text{ unidades}$$

$$RS_2 = \frac{\sqrt{\frac{2(67)(50)}{0.02(75)}}}{2} = 33 \text{ unidades}$$

Un inventario de sistema normal para los dos almacenes es $RS_S = RS_1 + RS_2 = 26 + 33 = 59$ unidades.

Ahora, calculamos las existencias regulares como si se mantuvieran en un almacén central. La demanda promedio para el almacén central es $d_C = d_1 + d_2 = 41 + 67 = 108$. Ahora,

$$RS_C = \frac{\sqrt{\frac{2(108)(50)}{0.02(75)}}}{2} = 42 \text{ unidades}$$

Existencias de seguridad. Las existencias de seguridad en los dos almacenes se hallan de la siguiente manera.

$$SS = zs_d\sqrt{TE}$$
$$SS_A = 1.96(11)\sqrt{0.5} = 15.25 \text{ unidades}$$
$$SS_B = 1.96(9)\sqrt{0.5} = 12.47 \text{ unidades}$$

El sistema de existencias de seguridad en los dos almacenes es $SS_S = SS_A + SS_B = 15.25 + 12.47 = 27.72$, or 28 unidades.

Para las existencias de seguridad en el almacén central, calculamos la desviación estándar de la demanda a partir de

$$s_C = \sqrt{s_1^2 + s_2^2} = \sqrt{11^2 + 9^2} = 14.21.$$

Ahora, las existencias de seguridad son

$$SS_C = 1.96(14.21)\sqrt{0.5} = 19.69, \text{ o } 20 \text{ unidades}$$

El inventario total es la suma de las existencias regular y de seguridad. Para dos almacenes $AIL_2 = 59 + 28 = 87$ unidades. En el almacén central, $AIL_C = 42 + 20 = 62$ unidades. Fíjese que las existencias regular y de seguridad han disminuido mediante la consolidación.

Regla de la raíz cuadrada. La regla de la raíz cuadrada es un método bien conocido para determinar el efecto de la consolidación de los inventarios. Sin embargo, indica sólo la reducción de las existencias regulares, y no los efectos de las existencias regular y de seguridad, como se describió en la sección anterior. Suponiendo que se está siguiendo una política de control de inventarios basada en la fórmula CEP, y que todos los puntos de aprovisionamiento manejan la misma cantidad de inventario, la regla de la raíz cuadrada se establece así:

$$AIL_T = AIL_i\sqrt{n} \tag{9-28}$$

donde

AIL_T = cantidad óptima de inventario para tener existencias, si se consolidara en una ubicación, en dólares, libras, cajas u otras unidades
AIL_i = cantidad de inventario en cada ubicación n, en las mismas unidades que AIL_T
n = número de ubicaciones de aprovisionamiento antes de la consolidación

Fíjese que el inventario varía con el número de puntos de aprovisionamiento en la red logística.

Ejemplo

La Sorensen Research Company operaba 16 almacenes públicos regionales. Cada almacén manejaba $165,000 de inventario por término medio. Si todas las existencias se consolidaran en una ubicación en la planta ¿cuánto inventario podría esperarse?

Usando la ecuación (9-28), calculamos

$$AIL_T = \$165,000\sqrt{16} = \$660,000$$

Note que el sistema previo de puntos de aprovisionamiento tenía un total de 16 × 165,000 = $2′630,000 en la inversión de inventario.

Ejemplo

Supongamos que Sorensen desea consolidar los inventarios en dos ubicaciones que dividan las existencias en partes iguales. ¿Cuánto inventario puede esperarse en cada almacén?

Ya sabemos que una ubicación tendría $660,000 en inversión de inventario. Ahora, simplemente tenemos que estimar, a partir de este valor, la cantidad por abastecer en dos almacenes. Resolviendo algebraicamente la ecuación (9-28), el inventario en un sistema de almacén múltiple sería

$$AIL_i = \frac{AIL_T}{\sqrt{n}}$$

De aquí que, para los dos almacenes, el inventario en cada uno sería

$$AIL_i = \frac{\$660,000}{\sqrt{2}} = \$466,690$$

El inventario de todo el sistema es 2 × 466,690 = $993,381. Así que, reducir de 16 a dos almacenes ahorra $2′630,000 – 933,381 = $1′696,619 en inversión de inventario.

Curva de salida de inventarios. Aunque la regla de la raíz cuadrada de consolidación de inventarios por lo general es útil, las suposiciones de que hay iguales cantidades de inventario en todos los almacenes; de que los inventarios se consolidan precisamente como la raíz cuadrada del número de almacenes; de que la demanda y el tiempo de entrega se conocen con seguridad y de que la cantidad de pedido se determina a partir de la fórmula *CEP*, pueden ser demasiadas limitaciones. Usando una valoración ligeramente diferente, estas limitaciones pueden reducirse. Primero, basándonos en los informes de la compañía sobre la situación de las existencias, construimos un diagrama de nivel inventario promedio (AIL_i) comparado con los envíos anuales del almacén (D_i), según se muestra en la figura 9-21. Cada punto en el diagrama representa un único almacén. Es el coeficiente de rotación para el almacén. A partir de una familia de curvas de la forma $AIL = aD^b$, ajustamos la mejor curva posible a los datos. Los datos de la figura 9-21 son para una compañía de especialidades químicas, y da $a = 2.986$, $b = 0.635$. La disminución en la curva indica que la compañía está siguiendo, probablemente, una política de control de inventarios basada en la *CEP*, pero no es necesario saber eso. En la práctica, rara vez vemos la función

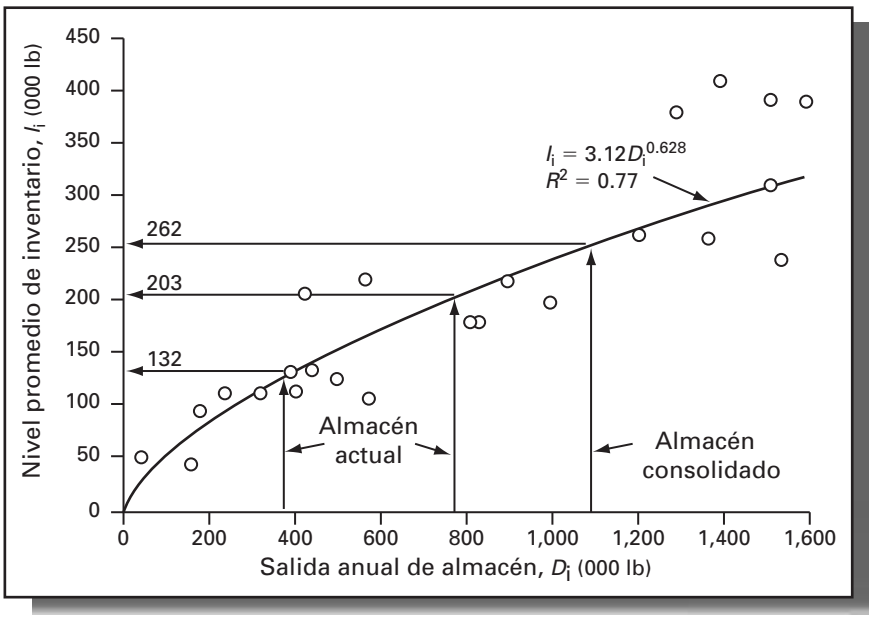


Figura 9-21 Curva de salida de inventarios para un productor de componentes industriales de limpieza.

de la raíz cuadrada, debido a la presencia de algunas existencias de seguridad.[18] Los niveles de inventario para un almacén con demanda proyectada de salida (envíos desde la instalación) pueden calcularse a partir de la fórmula matemática para la curva o pueden hallarse directamente según el diagrama de la curva de salida de inventarios.

Ejemplo

La compañía de especialidades químicas, cuyos datos se representan en la figura 9-21, tiene 25 almacenes públicos y fábricas, desde las cuales distribuye el producto. Supongamos que dos almacenes con 390,000 libras y 770,000 libras de salida, respectivamente, tienen que consolidarse en un único almacén con 390,000 + 770,000 = 1'160,000 libras de salida anual. ¿Cuánto inventario debería almacenarse en ese único almacén?

A partir del diagrama de la figura 9-21, el inventario para los dos almacenes actuales es 132,000 + 203,000 = 335,000 libras. Combinando las salidas y leyendo el inventario a partir del diagrama nos da 262,000 libras.

[18] Ronald H. Ballou, "Estimating and Auditing Aggregate Inventory Levels at Multiple Stocking Points", *Journal of Operations Management*, Vol. 1, Núm. 3 (febrero de 1981), págs. 143-153; y Ronald H. Ballou, "Evaluating Inventory Management Performance Using a Turnover Curve", *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, Vol. 30, Núm. 1 (2000), págs. 72-85.

Límite de la inversión total

Los inventarios representan una inversión de capital sustancial para muchas empresas. Por ello, los gerentes a menudo pondrán un límite a la cantidad de inventario que se vaya a manejar. Entonces, si la inversión total de inventario promedio lo excede, la política de control de inventarios debe ajustarse para satisfacer este objetivo. Supongamos que el inventario se controla por una política de control de punto de reorden, bajo condiciones de certidumbre de la demanda y del tiempo de entrega. Si se pone un límite monetario en todos los artículos manejados en la ubicación de un inventario, podemos establecer que

$$\sum_i C_i \frac{Q_i}{2} \leq L \tag{9-29}$$

donde

L = límite de inversión para artículos i del inventario, en dólares
C_i = valor de artículo i en inventario
Q_i = cantidad de pedido para el artículo i en el inventario

La cantidad de pedido puede determinarse al modificar la ecuación (9-7). Cuando el valor promedio del inventario para todos los artículos exceda el límite de la inversión *(L),* las cantidades de pedido para los artículos tienen que reducirse, con el fin de bajar los niveles promedio de inventario de los artículos y cumplir el límite de inversión. Una manera razonable de hacerlo es inflar artificialmente el costo de manejo I para un valor $I + \alpha$; lo suficientemente grande como para reducir los niveles de existencias a una cantidad apropiada. La fórmula básica de cantidad económica de pedido se modifica para ser

$$Q_i = \sqrt{\frac{2D_iS_i}{C_i(I + \alpha)}} \tag{9-30}$$

donde α es una constante por determinar. La ecuación (9-30) se sustituye en la ecuación (9-29) y se trabaja de nuevo para dar una fórmula para α.

$$\alpha = \left(\frac{\sum_i \sqrt{2D_iS_iC_i}}{2L} \right)^2 - I \tag{9-31}$$

Una vez que se halla α, se sustituye en la ecuación (9-30) para hallar la Q_i revisada.

Ejemplo

Supongamos que un inventario contiene tres artículos. La administración ha puesto un límite total de $10,000 dólares para la inversión promedio de inventario para estos artículos. El costo de manejo anual es de 30%. Otros datos relevantes son

Art. i	Costo de adquisición, S_i	Costo de compra, C_i	Demanda anual, D_i
1	$50/pedido	$20/unidades	12,000 unidades
2	50	10	25,000
3	50	15	8,000

Primero calculamos cada Q. Es decir,

$$Q_1 = \sqrt{\frac{2DS}{IC}} = \sqrt{\frac{2(12,000)(50)}{0.30(20)}} = 447.21 \text{ unidades}$$

De manera similar,

$$Q_2 = \sqrt{\frac{2(25,000)(50)}{0.30(10)}} = 912.87 \text{ unidades}$$

$$Q_3 = \sqrt{\frac{2(8,000)(50)}{0.30(15)}} = 421.64 \text{ unidades}$$

Al comprobar la inversión total de inventario mediante la resolución de la parte izquierda de la ecuación (9-29) con los valores arriba calculados, da

$$\begin{aligned}\text{Inversión de inventario} &= C_1(Q_1/2) + C_2(Q_2/2) + C_3(Q_3/2)\\ &= 20(447.21/2) + 10(912.87/2) + 15(421.64/2)\\ &= \$12,199\end{aligned}$$

Dado que se excede el límite de inversión de \$10,000, resolvemos α en la ecuación (9-31). Es decir,

$$\alpha = \left(\frac{\sqrt{2(12,000)(50)(20)} + \sqrt{2(25,000)(50)(10)} + \sqrt{2(8,000)(50)(15)}}{2(10,000)} \right)^2 - 0.30$$
$$= 0.146$$

Ahora podemos sustituir $\alpha = 0.146$ en la ecuación (9-30) y resolvemos para la cantidad revisada de pedido para cada artículo. Es decir,

$$Q_1 = \sqrt{\frac{2D_iS_i}{C_i(I + \alpha)}} = \sqrt{\frac{2(12,000)(50)}{20(0.30 + 0.146)}} = 366.78 \text{ unidades}$$

De manera similar, las cantidades de pedido para los otros artículos se calcula que sean $Q_2 = 748.69$ unidades y $Q_3 = 345.81$ unidades. La inversión promedio ahora llega a \$10,004. ¡Lo suficientemente cerca!

Control de inventarios determinado por la oferta

Hay situaciones donde la metodología comentada anteriormente no parece ser apropiada. Esta supone que la oferta y la demanda pueden adaptarse razonablemente; sin embargo, hay situaciones en las que, a pesar de los mejores esfuerzos de pronóstico de la gerencia, la oferta no puede alinearse bien con la demanda. Es decir, la oferta puede ser tan valiosa que el productor obtendrá toda la que esté disponible. Esto puede ocasionar tener

exceso o falta de existencias en el canal de suministros. Poco puede hacerse cuando la demanda excede a la oferta. Por otra parte, cuando el productor "empuja" un exceso de oferta en el canal de distribución, el productor tiene una única opción para controlar los excesos de niveles de inventario que pueden ocurrir: incrementar la demanda para bajar el inventario a niveles más aceptables. Normalmente se usa el descuento en los precios como la variable para incrementar la demanda.

Aplicaciones

- StarKist opera un único sistema de control agregado de inventarios para sus productos de atún. Dado que la compañía está comprometida a comprar y empacar todo el atún que pueda, el sistema de distribución puede llegar a estar sobrecargado de producto terminado. Para manejar el exceso de existencias, la compañía suelta las ventas de sus productos. Los clientes inmediatamente compran cantidades extra de estos productos altamente apreciados, con lo que se reducen los niveles de inventario de StarKist.
- La Cruz Roja Americana: Blood Services planea con un año de anticipación para las colectas de sangre. Los donantes están altamente valorados y no son rechazados, incluso si las colectas exceden los niveles anticipados o las necesidades actuales de sangre. Si los niveles de inventario de tipos específicos de sangre son altos y pueden caducar, la Cruz Roja convertirá la sangre entera en otro derivado sanguíneo, o bien reducirá el precio a sus hospitales clientes. El descuento en el precio es efectivo porque los hospitales obtienen su suministro de sangre desde múltiples fuentes, no sólo de la Cruz Roja.

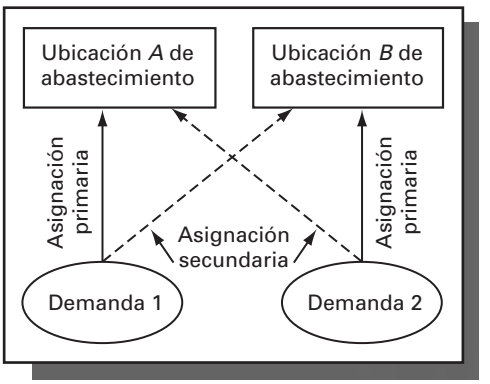
Inventarios virtuales[19]

Con las mejoras de los sistemas corporativos de información, se ha vuelto una práctica creciente atender la demanda de los clientes desde más de una ubicación de abastecimiento. Aunque los clientes pueden asignarse a un lugar principal de abastecimiento, es raro que se mantenga suficiente inventario para cumplir con todos los requerimientos de la demanda desde una ubicación primaria todo el tiempo. Es razonable una política de inventario de este tipo, dado que el costo de inventario para asegurarse que nunca faltarán existencias es extraordinariamente alto. En forma alternativa, la demanda se atenderá de manera cruzada desde otros lugares que contengan los mismos artículos para un sistema de inventario de dos puntos de abastecimiento, según se ilustra en la figura 9-22. A la combinación de lugares de inventarios la llamaremos *inventario virtual*. El surtido cruzado de la demanda desde múltiples ubicaciones de abastecimiento en el inventario virtual conduce a esperar que las tasas de disponibilidad de la demanda se incrementen, los niveles de inventario de todo el sistema desciendan, o ambos casos, según se compare con la satisfacción de la demanda a partir de sólo la ubicación primaria de abastecimiento para el cliente, que incurre en ciertas faltas de existencias y retrasos en el surtido de los pedidos.

El problema de logística es decidir los artículos que hay que surtir de manera cruzada y los que deberían surtirse sólo desde la ubicación primaria. La solución requiere un equilibrio entre los costos asociados con las existencias regulares y las existencias de seguridad. Recordemos que las existencias regulares son el inventario para cumplir la de-

[19] Ronald H. Ballou y Apostolos Burenetas, "Planning Multiple Location Inventories", *Journal of Business Logistics*, por publicar.

Figura 9-22
Ilustración de surtido cruzado de inventarios.



manda promedio y el tiempo de entrega promedio. Las existencias de seguridad, por otro lado, son el inventario extra necesario para cumplir las incertidumbres de la demanda y del tiempo de entrega. Cuando se convierte en surtido cruzado, las fuerzas económicas asociadas con estos dos tipos de inventarios se oponen. Es decir, en una base de todo el sistema, las existencias regulares se incrementan con el surtido cruzado, en tanto que las existencias de seguridad disminuyen. Consideremos cómo ocurre esto.

Abastecimiento regular

En un sistema de puntos múltiples de abastecimiento, la cantidad máxima de inventario mantenida en todo el sistema ocurrirá cuando la demanda en los puntos de abastecimiento se divida en partes iguales entre ellos. Por otra parte, cuando hay dispersión desigual de la demanda, el surtido cruzado da origen a que la demanda efectiva de todo el sistema esté más equilibrada de lo que estaba la demanda original. La demanda efectiva se refiere a la demanda comprendida actualmente en un punto de abastecimiento (mediante abastecimiento cruzado desde otros puntos de abastecimiento), en vez de la demanda original asignada a él.

Para ilustrar, supongamos que hay dos puntos de abastecimiento, como en la figura 9-22, con una demanda de 50 y 150 unidades semanales, respectivamente, y una tasa de disponibilidad de inventario de 90%. Una tasa de disponibilidad de 90% significa que sólo 90% de la demanda de cada punto en promedio puede surtirse desde la ubicación primaria, con 10% que se está surtiendo desde una ubicación alterna. De aquí que la demanda efectiva de la ubicación 1 es $50 \times 0.9 + 0.1 \times 150 = 60$ unidades a la semana. Para la ubicación 2, la demanda efectiva es $0.1 \times 50 + 0.9 \times 150 = 140$ unidades a la semana. Fíjese que la demanda efectiva se ha movido más cercana al 100% de la demanda compartida que la dispersión original de 50/150. Si las existencias regulares se determinan a partir de la fórmula CEP de la ecuación (9-7), entonces el inventario en cada ubicación de abastecimiento es $AIL = K\sqrt{D}$ donde K es una constante derivada de los costos para un artículo en particular. Por lo tanto, el inventario de todo el sistema (AIL_s) sin surtido cruzado es $AIL_s = \sqrt{50} + \sqrt{150} = 19.3$ unidades, donde K se toma como uno para propósitos de ilustración. Con el surtido cruzado, $AIL_s = \sqrt{60} + \sqrt{140} = 19.6$ unidades. Las existencias regulares han aumentado.

Existencias o inventario de seguridad

En un sistema de puntos múltiples de bastecimiento, los niveles de existencias de seguridad se ven afectados por la tasa de disponibilidad y la dispersión de la demanda entre las ubicaciones de abastecimiento. En contraste, con las existencias regulares, los abasteci-

Tabla 9-9
Desviación estándar de la demanda efectiva en dos ubicaciones, en unidades por semana.

	Existencias, ubicación A	Existencias, ubicación B
Desv. estándar	4.5[a]	0.5[b]
Desv. estándar	1.5[c]	13.5
Desv. estándar combinada	4.7[d]	13.5

[a] $\sqrt{[FR(1-FR)^{N-1}]^2 s^2} = \sqrt{[0.9(1-0.9)^{1-1}]^2 5^2} = 4.5$

[b] $\sqrt{[FR(1-FR)^{N-1}]^2 s^2} = \sqrt{[0.9(1-0.9)^{2-1}]^2 5^2} = 0\,45$, redondeado a 0.5

[c] Redondeado 1.5

[d] $\sqrt{4.5^2 + 1.5^2} = 4.7$

mientos mínimos de seguridad ocurren cuando la demanda está equilibrada entre las ubicaciones de abastecimiento.

Para ilustrar esto, supongamos que las desviaciones estándar *(s)* para la demanda de existencias regulares dadas previamente son de 5 y 15 unidades por semana, respectivamente, un tiempo de entrega *(TE)* de una semana, y una tasa de disponibilidad de 90%. Recordemos que para un sistema de control de punto de reorden, el almacenamiento de seguridad *(ss)* puede estimarse a partir de $ss = zs\sqrt{TE}$, donde $z = 1.28$ proviene de la distribución normal al 90%. *(Nota*: Se supone que la tasa de disponibilidad y la probabilidad durante el tiempo de entrega, o la probabilidad durante el tiempo de entrega más el tiempo de revisión de pedido dependiendo del método de control son aproximadamente los mismos.) Con el surtido cruzado, la desviación estándar para una ubicación en particular entre múltiples puntos de abastecimiento es $s_N = \sqrt{[FR(1-FR)^{N-1}]^2 s^2}$, para el punto de abastecimiento *N*. Las desviaciones estándar efectivas para las dos ubicaciones de abastecimiento se muestran en la tabla 9-9.

Las existencias de seguridad en la ubicación *A* sin surtido cruzado son $ss = zs\sqrt{TE} = 1.28(5)\sqrt{1} = 6.4$ unidades, en *B* son de 19.2 unidades, y para todo el sistema son 6.4 + 1.28 = 25.6 unidades. Con surtido cruzado, las existencias de seguridad en *A* son $1.28(4.7)\sqrt{1} = 6.0$ unidades, en *B* son de 17.3 unidades, y para todo el sistema son de 23.3 unidades. El surtido cruzado arroja una reducción de 25.6 – 23.3 = 2.3 unidades.

Ahora, la decisión para hacer surtido cruzado (o no hacerlo) de un artículo inventariado es el resultado de equilibrar estos costos opuestos de posesión de inventarios. Además, pueden incluirse los costos de transportación para envío a un cliente desde puntos de abastecimiento distantes. Este costo no promueve el surtido cruzado. Sin embargo, si están incluidos los costos por falta de existencias en los que se incurre debido a que no se sirve la demanda desde la ubicación primaria de abastecimiento, se favorece el surtido cruzado. Calcular estos costos para cada artículo mantenido en inventario identifica a los artículos cuya demanda debería ser surtida sólo desde la ubicación primaria de abastecimiento, y también aquellos que deberían ser surtidos desde el inventario virtual.

Ejemplo

Supongamos que una empresa tiene dos opciones para atender a sus clientes con el fin de mantener un alto nivel de disponibilidad de productos: Primera, los clientes pueden ser atendidos desde un almacén designado en su vecindad. Si hay falta de existencias, la ven-

ta se puede perder o surgirá un pedido pendiente. Segunda, cuando los artículos están agotados, el pedido puede surtirse desde un almacén secundario, y la compañía paga los costos extra de transportación. Para cualquier artículo dado en el inventario, ¿cuál de estos diseños debería seleccionarse?

Se selecciona un artículo representativo del inventario que se va a probar. El sistema de distribución es parecido al ilustrado en la figura 9-22. El artículo tiene un costo en el inventario de $200 por unidad, un costo de manejo de 25% anual, un nivel de existencias de seis semanas de demanda, un tiempo de entrega de reaprovisionamiento de ocho semanas, y una tasa de disponibilidad objetiva de 95%. La tasa de transporte para manejo cruzado desde un almacén secundario fuera del territorio de un cliente es de $10 por unidad. Las características de la demanda semanal del artículo son las siguientes:

Ubicación	Demanda media	Desviación estándar
1	300	138
2	100	80
Sistema	400	160

La política de control de inventario no se conoce con seguridad.

Las curvas de decisión de surtido cruzado de la figura 9-23 ayudan con este tipo de toma de decisiones. Es necesario hacer algunas proyecciones preliminares. Dado que no hay salida de inventario del tipo descrito en una sección anterior, supondremos que la compañía está operando un buen sistema de control de inventarios, con $\alpha = 0.7$. Sabemos que el nivel promedio de inventario puede describirse como $AIL = KD^{\alpha}$ y K puede hallarse manipulando esta fórmula. Es decir, $K = D^{1-\alpha} / TO$. AIL puede aproximarse como D/TO, donde TO es el coeficiente de rotación o 52 semanas por año/6 semanas de demanda en el inventario = 8.67. Por lo tanto, $K = (400 \times 52)^{1-0.7}/8.67 = 2.28$. También, suponemos que la tasa de disponibilidad o surtimiento y la probabilidad de tener existencias durante el tiempo de entrega son aproximadamente las mismas, por lo que z puede hallarse a partir de la distribución normal (apéndice A) para el porcentaje de la tasa de disponibilidad/surtimiento, o $z_{@0.95} = 1.96$.

Los parámetros X,Y para la figura 9-23 pueden calcularse ahora.

$$X = \frac{tD^{1-\alpha}}{ICK} = \frac{10([400 \times 52])^{1-0.7})}{0.25(200)(2.28)} = 1.73$$

y

$$Y = \frac{zs\sqrt{TE}}{KD^{\alpha}} = \frac{1.96(160)\sqrt{8}}{2.28([400 \times 52])^{0.7}} = 0.4$$

La razón de la demanda r es 100/400 = 0.25.

En la figura 9-23 vemos ahora que la intersección de X y r cae por debajo de la curva de decisión de $Y = 0.4$ (usemos $Y = 0.5$). Dado que el valor cae por debajo de la curva Y, no hacemos surtido cruzado del artículo.

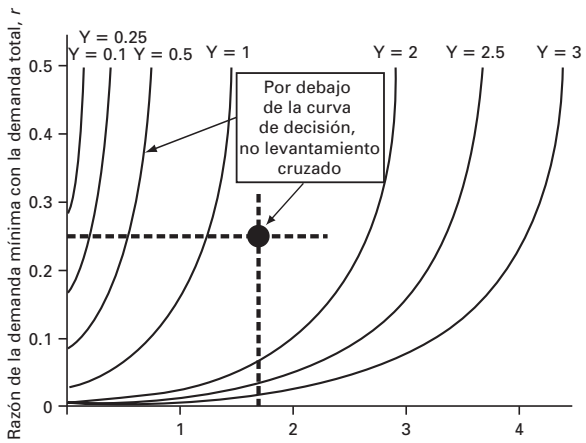
Se dispone de curvas adicionales del tipo mostrado en la figura 9-23 para varios valores de FR y α.[20] Ellas permiten que se manejen problemas de planeación de inventario virtual para una variedad de artículos.

[20] Íbid.

LEYENDA

D = demanda anual del sistema
s = desviación estándar de la demanda del sistema
C = costo unitario del artículo
l = tasa de costo de manejo anual (%)
K, α = parámetros del control de inventario
t = tasa de transportación
FR = tasa de disponibilidad del artículo
r = razón de la demanda mínima con la demanda del sistema
TE = tiempo de entrega expresado en unidades de tiempo de la desviación estándar de la demanda
z = desviación normal en FR%

$$X = \frac{tD^{1-\alpha}}{ICK} \qquad Y = \frac{zs\sqrt{TE}}{KD^{\alpha}}$$



Para valores dados de X y r hallamos su intersección. El surtido cruzado es beneficioso si la intersección de$X$ y r está por encima de la curva de decisión representada por la curva Y, y no es beneficioso si la intersección está por debajo de la curva Y.

Figura 9-23 Curvas de decisión de surtido cruzado para $FR = 0.95$ y $\alpha = 0.7$.

COMENTARIOS FINALES

Los inventarios siguen representando un uso importante de capital en el canal de suministros. Su buena administración significa mantenerlos al nivel más bajo posible consistente en un equilibrio de costos directos e indirectos, asignados a su nivel y con la necesidad de mantener un nivel deseado de disponibilidad del producto. Se ha realizado un amplio análisis sobre la administración óptima de inventarios, y este capítulo resume los métodos clave de control de inventarios que han demostrado ser útiles en la práctica. Se han apuntado las diferencias entre las valoraciones del sistema de demanda *(pull)*, del sistema de incremento *(push)*, del sistema de control determinado por la oferta y del sistema de control agregado para la planeación y el control de los inventarios. Se ilustran métodos matemáticos específicos para una variedad de circunstancias, como la certidumbre y la incertidumbre de la demanda y del tiempo de entrega, patrones de demanda perpetua y estacionaria, niveles o escalones únicos y múltiples, ubicaciones únicas y múltiples de abastecimiento e inventarios en reposo y en tránsito. Todas ellas son útiles para establecer políticas solventes para el manejo de un activo costoso.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Q^* = cantidad óptima de pedido, en unidades
Q = cantidad de un pedido, en unidades
CEP = cantidad económica de pedidos, por lo regular
CP_n = frecuencia acumulada de vender, al menos, n unidades
D = demanda promedio anual, en unidades/año

S = costo de adquisición de artículos, en dólares/pedido
I = costo anual de manejo de inventarios, porcentaje del valor del artículo por año
C = valor del artículo en inventario, en dólares/unidad
T^* = intervalo óptimo de pedido, expresado en unidades de tiempo
T = intervalo particular de pedido, expresado en unidades de tiempo
N^* = número óptimo de intervalos de pedido por año
PRO = cantidad de punto de reorden, en unidades
d = tasa de demanda promedio diaria, en unidades/día
TE = tiempo de entrega promedio expresado en unidades de tiempo
Q_p^* = cantidad óptima de periodos de producción, en unidades
p = tasa de salida de producción, expresada en las mismas dimensiones que d
s_d = desviación estándar de la demanda, en unidades
s_d' = desviación estándar de las demandas del *DDLT* o *DD*[$T + TE$], en unidades
X' = media de las distribuciones de la demanda del *DDLT* o *DD*[$T + TE$]
s_{TE} = desviación estándar del tiempo de entrega, expresada en unidades de tiempo
P = probabilidad de tener existencias durante un ciclo de pedido (sistema de punto de reorden) o durante un ciclo de pedido más el tiempo de entrega (sistema de revisión periódica), expresada como una fracción o porcentaje
z = desviación normal en la distribución estandarizada normal
SL = nivel de servicio al cliente o tasa de disponibilidad/surtimiento de artículos, expresado como una fracción o porcentaje
AIL = nivel promedio de inventario, en unidades
$E_{(z)}$ = unidad normal de pérdida integral
TC = costo total pertinente de inventarios, en dólares/año
M^* = nivel óptimo máx. para el sistema de revisión periódica o sistema Mín-Máx
O = costo común de procesamiento de pedido para pedidos conjuntos, en $/pedido
k = costo por falta de existencias, en dólares/unidad
i = subíndice que denota el número de artículo
Y = fracción acumulativa de ventas
X = fracción acumulativa de artículos
A = una constante
n = número de puntos de almacenamiento en un sistema de múltiples puntos de almacenamiento
L = límite de la inversión en inventario, en dólares
K, α = constantes de la curva de salida de inventario
ED = déficit esperado, en unidades

Preguntas

1. ¿Por qué los inventarios son tan costosos de mantener?
2. ¿Cuáles son las razones por las que los inventarios se mantienen por todo un canal de suministro? ¿Por qué deberían evitarse?
3. Compare una filosofía de inventario de incremento (*push*) con una filosofía de demanda *(pull)*. ¿Cuándo sería más apropiado aplicar cada una? De manera similar, ¿cuál es la diferencia entre los métodos de incremento y de demanda y los métodos de control agregado? ¿Cuándo debería aplicarse cada tipo?
4. Identifique los costos pertinentes para el control de inventarios. Dentro de una compañía, ¿de dónde cree que deberían obtenerse?
5. Explique lo que son existencias de seguridad y por qué son necesarias.
6. Explique la diferencia entre la probabilidad de falta de existencias durante un ciclo de pedido y el nivel de servicio, o tasa de disponibilidad del artículo.
7. ¿De qué manera podría decidir qué artículos de una línea de productos de una compañía tienen que clasificarse como los artículos *A, B* y *C*?
8. Explique lo que cree que quería decir un ejecutivo con este enunciado: "Todos los errores de la administración concluyen en el inventario".
9. ¿Cuál es la ley de la raíz cuadrada en la planeación de inventarios y a qué tipos de problemas cree que se aplica?

10. ¿Por qué la cantidad económica de pedido no es muy sensible a la inexactitud de los datos utilizados?
11. ¿Dónde se localizan en el canal de suministros los inventarios en tránsito, y cómo los controlaremos mejor?
12. ¿Cómo cree que se debería empezar a fijar el nivel de existencias de la disponibilidad de servicio y determinar los costos por falta de existencias?
13. Si la demanda de un artículo en un inventario mostró el patrón 0 1 2 5 150 0 1 0 3 4 150 1 0 0 5 1 150, ¿qué sugerencias puede hacer sobre cómo debería controlarse el nivel de inventario?
14. Describa un sistema de inventario determinado por la oferta. ¿Cómo se controlan los niveles de inventario comparados con un sistema de demanda?
15. Muestre las diferencias de existencias para una valoración de la demanda para un control de inventario con el método de control de revisión periódica basado en *CEP*. ¿Por qué es más simple? ¿Hay que pagar algún otro precio por esta simplicidad?
16. Explique el efecto de agrupación de inventario si el número de puntos de abastecimiento es variado.
17. ¿Qué es la curva de salida de inventario? ¿Cómo puede determinarse? ¿En qué es útil?
18. ¿Qué es un "inventario virtual"? ¿Cuál es el problema de planeación relacionado con tales inventarios?

PROBLEMAS

Determinado número de los siguientes problemas y estudios de casos en este capítulo pueden resolverse total o parcialmente con la ayuda de un software de computación. Los paquetes de software en LOGWARE más importantes para este capítulo son INPOL (*I*) y MULREG (*MR*). El ícono de CD aparecerá con el diseño del paquete de software donde se ayuda al análisis del problema por medio de uno de estos programas de software. Puede prepararse una base de datos para el problema, si se requiere una extensa entrada de datos. Cuando el problema pueda resolverse sin la ayuda de la computadora (a mano), se muestra el ícono de la mano. Si no aparece ningún ícono, se supone cálculo manual.

1. Un comprador va a una farmacia en busca de seis artículos. La tienda abastece estos artículos con las probabilidades siguientes de tenerlos en existencias:

Artículo	Probabilidad de tenerlo en existencias, %
Pasta de dientes	95
Enjuague bucal	93
Baterías (pilas)	87
Crema de afeitar	85
Aspirinas	94
Desodorante	90

Suponiendo que compre sólo un artículo de cada uno de estos productos, ¿cuál es la probabilidad de que el comprador complete su pedido?

2. Central Hospital Supply tiene la política de que un hospital puede esperar a que se surtan sus pedidos directamente de las existencias de 92% de las veces. Si cualquier artículo de un pedido está agotado, todo el pedido se mantiene como pedido pendiente, para evitar los costos adicionales de envío. Los pedidos incluyen, típicamente, hasta diez artículos. Una muestra de los pedidos del último año muestra que a menudo aparecen seis combinaciones de productos en los pedidos, de la siguiente manera:

Pedido	Combinación	Frecuencia del pedido
1	*A,C,F,G,I*	0.20
2	*B,D,E*	0.15
3	*E,F,I,J*	0.05
4	*A,B,C,D,F,H,J*	0.15
5	*D,F,G,H,I,J*	0.30
6	*A,C,D,E,F*	0.15
		1.00

Los niveles de inventario se han fijado de tal forma que los productos *A, B, C, D, E* y *F* tengan un nivel de servicio común de 0.95 cada uno. Para el resto de los productos se fijaron en 0.90 cada uno.

   a. ¿Está la empresa cumpliendo su objetivo de servicio de inventario?
   b. En caso negativo, ¿a qué niveles de servicio de artículos tendrían que fijarse estos dos grupos de productos para cumplir la tasa de disponibilidad del pedido de 92%?

3. Un importador distribuye aparatos de televisión del Lejano Oriente por toda la Unión Europea desde cuatro almacenes. Los cargamentos se reciben mensualmente, y el de este mes es de 120,000 aparatos. Debido al largo *tiempo de entrega*, es difícil que la demanda y la oferta de los aparatos coincidan. Por lo tanto, la asignación a los almacenes se basa en un pronóstico mensual de la demanda y en el nivel de servicio para cada almacén. Los registros y pronósticos del inventario para el mes que viene muestran la siguiente situación:

Almacén	Cantidad disponible, aparatos	Pronóstico de la demanda, aparatos[a]	Error de pronóstico, aparatos[b]	Nivel de servicio[c]
1	700	10,000	1,000	90%
2	0	15,000	1,200	85
3	2,500	35,000	2,000	88
4	1,800	25,000	3,000	92

[a] Proyectado en el momento de un reaprovisionamiento de existencias basado en la tasa actual de ventas.
[b] Una desviación estándar. Los errores de previsión están normalmente distribuidos.
[c] Probabilidad de tener existencias durante el mes.

Si la transportación a los almacenes tarda una semana y el manejo de la importación requiere una semana más después de llegado el cargamento, ¿cómo debería hacerse la asignación de los aparatos en los almacenes?

4. Una casa de suministro de computadoras de pedidos por correo tiene un chip de memoria en inventario que vende a clientes de todo el país. Un fabricante japonés suministra el artículo usando carga aérea. Tiene las siguientes características:

Demanda promedio anual	= 3,200 unidades
Tiempo de entrega de reaprovisionamiento	= 1.5 semanas
Costo de manejo	= 15% anual
Precio de compra, entregado	= $55 por unidad
Costo de adquisición de pedido	= $35 por pedido

a. Diseñe un método de control de punto de reorden para este artículo.
b. Si usa su diseño, ¿cuáles son los costos anuales de pedido y de manejo?
c. Supongamos que el tiempo de entrega se extiende a tres semanas, por lo que $PRO > Q^*$. ¿Qué ajustes sugeriría hacer a la política de control?

5. Helen's Secretarial School entrena a jóvenes en procesamiento de textos y en otras habilidades secretariales. Los derechos de matrícula del curso son $8,500, pero rebajará hasta 10% de la tasa anual hasta que el graduado consiga un trabajo. La demanda promedio anual para sus graduados es de 300 al año. (Nota: el valor del producto y los costos de ejecución son los mismos.)
   a. ¿Cuántas secretarias potenciales debería admitir Helen por grupo?
   b. ¿Cuántas veces por año debería ofrecer el curso?
6. Una tienda minorista compra software de computadora a un distribuidor para su reventa. Por una próxima promoción, el minorista necesita determinar el mejor tamaño de pedido para una sola compra. Uno de los productos es un programa de software de procesamiento de textos que tendrá un precio especial de venta de $350. El minorista estima las probabilidades de vender varias cantidades de la siguiente manera:

Cantidad	Probabilidad
50	0.10
55	0.20
60	0.20
65	0.30
70	0.15
75	0.05
	1.00

El programa se puede comprar al distribuidor por $250 cada uno, pero hay un cargo de realmacenamiento de 20% del precio de compra si se devuelve al distribuidor cualquier programa no vendido.

¿Con qué tamaño de pedido de compra debería comprometerse el minorista?

7. Están colocando un cajero automático en una sucursal de MetroBank. Por las investigaciones del banco, se calcula que éste se beneficia indirectamente al ofrecer este servicio. Los estimados son que el banco generará ingresos a una tasa de 1% del dinero que pase por la máquina, en forma de nuevas cuentas para los clientes por comprobación de servicios, préstamos, cuentas de ahorro y similares. El retiro promedio del cajero automático es de $75, y el banco calcula que su costo del dinero sea de 10% anual.

   Abastecer la máquina para los dos días del fin de semana es su problema más difícil de planeación. De los registros históricos de otros cajeros automáticos, el banco estima

que el número promedio de retiros es de 120, con una desviación estándar de 20 y una distribución normal.

¿Cuánto dinero debería colocar el banco en la máquina para el fin de semana? (*Tip*: Considérelo un problema de pedido único.)

8. Cabot Appliances, una cadena minorista, está tratando de decidir qué tamaño de pedido debería hacer a su proveedor de aparatos domésticos de aire acondicionado. Las ventas de estos aparatos son altamente estacionales, y el número de unidades vendidas depende mucho de los patrones climáticos del verano. Cabot hace un pedido al año. Las reórdenes no son prácticas después de que comienza a desarrollarse la estación de ventas. Aunque el nivel actual de ventas no puede conocerse con seguridad, Cabot analiza las estaciones pasadas de ventas, informes climatológicos a largo plazo y el estado general de la economía. Entonces se proyectan las siguientes probabilidades de varios niveles de ventas:

Ventas, en unidades	Probabilidad
500	0.2
750	0.2
1,000	0.3
1,250	0.2
1,500	0.1
	1.0

Una unidad tiene un precio de entrega en Cabot de $320 y un precio para los clientes de $400. Los aparatos no vendidos al final de la estación son rebajados a $300, con lo que se les saca del inventario. Las compras pueden hacerse sólo en incrementos de 250 unidades, con un pedido mínimo de 500 unidades.

   a. Suponiendo que no tiene que quedar inventario para el año que viene, ¿qué tamaño de pedido único debería colocarse?
   b. ¿Modificaría la cantidad de pedido de la parte *a*, si Cabot pudiera pedir prestado el dinero para apoyar un inventario de 20% anual? Las unidades excedentes pueden guardarse para la próxima estación de ventas.

9. Supongamos que una pieza de automóvil en el inventario de un fabricante tiene las siguientes características:

Pronóstico de la demanda	= 1,250 cajas por semana
Error de pronóstico, desviación estándar	= 475 cajas por semana
Tiempo de entrega	= 2.5 semanas
Costo de manejo	= 30% anual
Precio de compra, entregada	= $56 por caja
Costo de reaprovisionamiento del pedido	= $40 por pedido
Costo de falta de existencias	= $10 por caja
Probabilidad de tener existencias durante el tiempo de entrega, P	= 80%

   a. Diseñe un sistema de control de punto de reorden para esta parte, dada la P asignada. ¿Cómo expondría la política de control de inventarios si el $PRO > Q^*$?

b. Diseñe un sistema de revisión periódica para esta parte. Ahora, supongamos que la probabilidad de tener existencias se amplía al intervalo del pedido más el tiempo de entrega.
c. Determine y compare los costos pertinentes de cada valoración.
d. ¿Qué nivel de servicio (tasa de disponibilidad) alcanza realmente con ambos diseños?
e. Halle la probabilidad de tener existencias durante el tiempo de entrega que optimice el diseño de un sistema de punto de reorden. ¿Cómo se compara el costo total con el de la parte *a*?

10. Repita la pregunta 9, pero incluya que el tiempo de entrega está normalmente distribuido, con una desviación estándar de 0.5 semanas.
11. Un fabricante de motores de caballos de fuerza separados para su uso en barredoras y pulidoras de suelo industriales produce sus propios equipos de instalación eléctrica. Estos equipos de instalación eléctrica se usan en el ensamblaje final en una tasa de 100 por día, durante 250 días laborables al año. Cuesta $250 comenzar la producción de los equipos de instalación eléctrica. La producción está en una tasa de 300 por día de operación. El costo estándar de estos equipos es de $75, y el costo de manejo del inventario de la compañía es del 25% anual.
    a. Cuál debería ser la cantidad de producción corrida?
    b. Cuál debería ser la duración de cada ciclo de producción corrida?
    c. ¿Cuántas veces al año debería producirse la parte?
12. Un fabricante japonés de aparatos usa una válvula en su operación final de ensamblaje de refrigeradores. Obtiene la válvula de un proveedor local en cualquier cantidad necesaria una hora después de la solicitud del pedido. El día de trabajo tiene ocho horas. El programa de producción solicita el uso de esta parte en una tasa constante de 2,000 por día, 250 días laborables al año. La compañía paga ¥35 por esta válvula entregada en la línea de ensamblaje. Los costos de manejo de inventario son del 30% anuales. Debido a acuerdos contractuales con el proveedor, los costos de adquisición ascienden a sólo ¥1.00 por pedido colocado.
    a. Diseñe un método de punto de reorden de control de inventarios para este artículo.
    b. Sugiera cómo podría usarse un sistema de las dos cajas como una forma de llevar a cabo este método de control.
13. Una gran compañía química en Green River, Wyoming, extrae sosa comercial usada en la fabricación de vidrio. La sosa comercial se vende a cierto número de fabricantes por medio de contratos anuales. Las compañías de cristal liberan sus requerimientos de sosa comercial contra sus contratos. La compañía minera ve la demanda en forma de cantidades de vagón de tren. Una semana típica muestra que la demanda está normalmente distribuida en 40 cargas de vagón, más o menos 10 carros. Estiman que la desviación estándar en (máx carros – mín carros)/6 = (50 – 30)/6 = 3.33 carros.

    La sosa comercial está valorada en $30 por tonelada, y una carga promedio de vagón de tren es de 90,000 libras de producto. El costo de manejo anual de la compañía es de 25% al año. Los costos de ejecución en la mina se estiman en $500 por pedido. Tarda una semana producir el producto o asegurar las cargas de vagón para su envío. Se desea una probabilidad de 90% de existencias durante el tiempo de entrega.
    a. La compañía debe solicitar carros al ferrocarril para surtir los pedidos. ¿Cuántos carros debería solicitar de una vez? (*Recuerde*: Una tonelada es igual a 2,000 libras.)
    b. ¿Para qué cantidad de sosa comercial remanente en el inventario debería hacerse la requisición de carros?

14. Un gran hospital usa cierta solución intravenosa que mantiene en inventario. Los datos pertinentes sobre este artículo son los siguientes:

Uso diario pronosticado[a]	= 50 unidades
Desviación estándar del error de pronóstico[b]	= 15 unidades
Tiempo de entrega promedio	= 7 días
Desviación estándar del tiempo de entrega[b]	= 2 días
Costo anual de manejo	= 30%
Costo de adquisición por pedido	= $50
Costo por falta de existencias	= $15 por unidad
Valor del producto	= $45 por unidad
Probabilidad de tener existencias[c]	= 85%

[a] 365 días al año.
[b] Normalmente distribuida.
[c] Durante el tiempo de entrega o durante el intervalo de pedido más el tiempo de entrega, dependiendo del diseño de control de inventario.

a. Diseñe un sistema de punto de reorden de control para este artículo.
b. Diseñe un sistema de revisión periódica de control para este artículo.
c. ¿Cree que la probabilidad de tener existencias está correctamente especificada para minimizar los costos? Haga una valoración con referencia al diseño del sistema de punto de reorden.

15. Se usa un método de revisión periódica de control de inventarios para dos productos que tienen que comprarse al mismo proveedor y al mismo tiempo. Se han recopilado los datos siguientes para estos artículos:

	Productos	
	A	B
Pronóstico de la demanda semanal, en unidades	2,000	500
Error de pronóstico[a] (desv. estánd.), en unidades	100	70
Tiempo de entrega, en semanas	1.5	1.5
Precio de compra, en dólares/unidad	$2.25	$1.90
Probabilidad de tener existencias durante el tiempo de entrega más ciclo de pedido	90%	80%
Costo por falta de existencias	Desconocido	
Costo de manejo, porcentaje/año	30%	30%
Costo común de compra de pedido, en dólar/pedido	$100	

[a] Normalmente distribuido.

a. Diseñe el sistema de control para estos productos. Exprese cómo funcionará dicho sistema de control.
b. ¿Cuál es el nivel promedio de inventario para cada uno de estos artículos?
c. ¿Cuál es el nivel de servicio al cliente que puede esperarse para estos artículos?
d. Supongamos que el tiempo de revisión está fijado en cuatro semanas. ¿Cómo cambiarán sus respuestas a las preguntas anteriores?

16. Una compañía importa piezas desde Taiwán a través del puerto de Seattle en la Costa Oeste. Las piezas están destinadas para sus operaciones de ensamblaje en la Costa Este. Los envíos se hacen por ferrocarril y requieren 21 días de tiempo de tránsito. Las piezas

están valoradas en $250 cada una en el puerto, y se usan 40,000 anualmente en las operaciones de ensamblaje. Los costos de manejo de inventario son del 25% anual. La tasa del ferrocarril a la costa este es de $6 por 100 libras, y las partes embaladas pesan 125 libras cada una.

Como alternativa, puede usarse transporte por carretera para cruzar el país en siete días. Las tasas de carretera son de $11 por cwt. ¿Justifican los ahorros de reducir los inventarios en tránsito el costo más alto de transporte por carretera?

17. En un punto de Ohio, un fabricante de equipo hidráulico (mangueras, cilindros y controles) consolida los artículos en pedidos producidos en diversos puntos en Estados Unidos. Los pedidos consolidados están destinados a Brasil y pueden ser enviados vía un agente despachador marítimo o por carga aérea. El tamaño promedio del pedido es de 292 lb. El envío marítimo ($4.94/lb) es más barato que la carga aérea ($9.04/lb) pero tarda más. Los movimientos marítimos desde el centro de consolidación requieren de transportación al puerto de Baltimore, tiempo de espera del buque para cargar en el puerto, paradas en Savannah y Miami para recoger y para navegación a São Paulo, Brasil. El tiempo total de tránsito promedia los 20 días. Por otra parte, los envíos por aire requieren sólo dos días de manejo y tránsito.

    El fabricante posee los artículos en tránsito hasta que llegan al puerto de destino y está preocupado por el costo de inventario mientras está en tránsito. El producto en tránsito está valorado en $185/lb y se envían 20,000 lb al año. El costo de capital de la compañía es de 17% anual.

    Desde el único punto de vista de transportación-inventario, ¿qué modo de transporte debería usarse?

18. Un distribuidor de piezas para camiones y autobuses tiene una pieza de amortiguador de correa (B2162H) en inventario. El artículo tiene una demanda mensual de 169 unidades con una desviación estándar de 327 unidades al mes, haciendo el patrón de demanda un poco desproporcionada. El tiempo de entrega para el artículo es de cuatro meses con una desviación estándar de 0.8 meses. Los costos del artículo son de 0.96 cada uno en la fábrica, con un cargo de transportación de $0.048 desde el proveedor al distribuidor. Los costos de mantener inventario son del 20% anuales, y los costos de procesamiento de pedidos son de $10 por pedido. La probabilidad que se desea tener en existencias durante el tiempo de entrega es de 85%. Los registros de inventario se actualizan diariamente y la cantidad de ventas promedio diarias es de ocho unidades.

    Desarrolle una política de control de inventarios mín-máx (sistema de punto de reorden) para este artículo de demanda irregular.

19. Acme Computer mantiene un *stock* de piezas de repuesto para todo el país en un almacén en Austin, Texas. Para suministrar un mejor servicio al cliente, la compañía ampliará el número de almacenes a diez, y todos serán del mismo tamaño. La inversión total de inventario en el almacén actual es de $5'000,000.

o

    a. Usando la ley de la raíz cuadrada, proyecte la cantidad de inversión de inventario que el sistema de distribución pueda contener con diez almacenes.
    b. Supongamos que nueve almacenes están operando con $1'000,000 de inversión de inventario en cada uno. Si la compañía fuera a consolidar el inventario en tres almacenes de igual tamaño, ¿cuánto inventario habría en cada uno de ellos?

20. La California Fruit Growers' Association es un consorcio de agricultores frutícolas en la Costa Oeste para la distribución de productos. La asociación opera actualmente 24 almacenes por todo el país. Para el año calendario más reciente, las estadísticas de los niveles promedio de inventario y de puntos de salida de almacén fueron recopilados tal y como aparecen en la tabla 9-10.

Almacén	Manejo de producto anual en el almacén	Nivel promedio de inventario
1	$ 21,136,032	$ 2,217,790
2	16,174,988	2,196,364
3	78,559,012	9,510,027
4	17,102,486	2,085,246
5	88,226,672	11,443,489
6	40,884,400	5,293,539
7	43,105,917	6,542,079
8	47,136,632	5,722,640
9	24,745,328	2,641,138
10	57,789,509	6,403,076
11	16,483,970	1,991,016
12	26,368,290	2,719,330
13	$ 6,812,207	$1,241,921
14	28,368,270	3,473,799
15	28,356,369	4,166,288
16	48,697,015	5,449,058
17	47,412,142	5,412,573
18	25,832,337	3,599,421
19	75,266,622	7,523,846
20	6,403,349	1,009,402
21	2,586,217	504,355
22	44,503,623	2,580,183
23	22,617,380	3,001,390
24	4,230,491	796,669
Totales	$818,799,258	97,524,639

Tabla 9-10 Inventario promedio en comparación con estadísticas del producto anual manejado en almacén de la California Fruit Growers' Association

a. ¿Qué coeficiente de rotación general puede alcanzar la asociación? Compare el coeficiente de rotación de los tres almacenes más pequeños con el de los tres más grandes, en términos de producto anual manejado. Sugiera por qué hay una diferencia.
b. Construya la curva de producto anual manejado en inventario adaptando a mano una línea recta a los datos o use un modelo simple de regresión lineal.
c. Los almacenes 1, 12 y 23 se van a consolidar en un único almacén. ¿Cuánto inventario esperaría en el almacén uno usando la curva de la parte *b*?
d. El almacén 5 se va a expandir en dos almacenes. El 30% del producto anual manejado será asignado a un almacén y el resto al otro. ¿Cuánto inventario estimaría que pueda haber en cada almacén usando la curva de la pregunta *b*?

21. Tres artículos de un inventario tienen las siguientes características:

	A	B	C
Demanda promedio por año	51,000	25,000	9,000
Tiempo de entrega, en semanas	0.5	0.5	0.5
Costo de manejar inventario por año	25%	25%	25%
Precio de compra entregada por unidad	\$1.75	\$3.25	\$2.50
Costo de adquisición por pedido	\$10	\$10	\$10

La inversión promedio en estos artículos no tiene que exceder de \$3,000. Los artículos se compran a diferentes vendedores y no se piden en forma conjunta. Determine las cantidades de pedido para estos artículos, de manera que no se exceda el límite de inversión.

22. Una compañía tiene tres artículos en su inventario que compra al mismo vendedor y que son enviados juntos en el mismo camión de reparto. El camión tiene una capacidad de 30,000 libras. Los artículos están bajo el método de revisión periódica de control de inventarios y son comprados mediante una sola orden de compra que cuesta \$60 preparar. El costo de manejo es de 25% del valor de cada artículo. Otra información sobre los artículos es la siguiente:

Artículo	Valor del producto, C_i	Peso del producto, w_i	Pronóstico semanal de la demanda, d_i
1	\$50/cajas	70 lb/cajas	100 cajas
2	30	60	300
3	25	100	200

Debido a consideraciones económicas, el tamaño del envío no tiene que exceder de la capacidad del camión para el pedido combinado. ¿De qué tamaño debería ser la cantidad de pedido para cada artículo? [*Tip*: la ecuación 9-29 se convierte en $\sum_i D_i T^* w_i \leq$ capacidad del camión, la ecuación (9-30) puede ser expresada de nuevo de la siguiente manera:

$$\alpha = \frac{2O}{\left(\dfrac{\text{Cap. del camión}}{\sum_i D_i w_i}\right)^2 \sum_i C_i D_i} -$$

y recuerde que $Q^* = D \times T^*$. El peso del producto es w_i y D_i es la demanda anual].

23. Cinco artículos en un inventario minorista completan el volumen de los artículos conservados. Los niveles de inventario se controlan usando el método de punto de reorden. Tienen un tiempo de entrega fijo de 15 días, un costo de compra de pedido de \$35 por pedido y por artículo, y un costo de manejo de inventario diario de 0.08219%. Otra información de los artículos es la siguiente:

	A	B	C	D	E
Pronóstico de la demanda diaria (d), en cajas	15	30	50	20	60
Error de pronóstico (s_d), en cajas	2	4	5	3	7
Valor del artículo (C_i), en dólares/caja	36	45	24	13	16

La probabilidad de tener existencias durante el tiempo de entrega está fijada en 95%. Los errores del pronóstico están normalmente distribuidos.

¿Cuál es el inventario total promedio, en cajas, para estos artículos?

24. Una tienda minorista controla sus artículos del inventario usando el método de punto de reorden; sin embargo, el espacio de anaquel para estos artículos es limitado. (Los minoristas asignan cierta cantidad de espacio de anaquel para cada artículo en la tienda.) Los pedidos se colocan en un centro de distribución central para su reaprovisionamiento. Un artículo típico en la tienda podría tener los datos siguientes:

Pronóstico de la demanda, en cajas/semana	123
Error de pronóstico (s_d), en cajas/semana	19
Tiempo de entrega, en semanas	1
Costo anual de mantener inventario, porcentaje/año	17
Valor del artículo, en dólar/caja	1.29
Costo de pedido, en dólar/pedido[a]	1.25
Espacio máximo de anaquel para los artículos, en cajas	250
Probabilidad de tener en existencias	93%

[a] Costo de pedido prorrateado para múltiples artículos.

¿Qué cantidad de pedido debería usarse para no exceder la restricción del espacio de anaquel?

25. Una empresa mexicana, Recos Cementos, produce y distribuye cemento y concreto por volumen y en bolsas al mercado de la construcción. El inventario se mantiene en nueve terminales de servicio a los clientes (contratistas) por todo el país. En la figura 9-24 se muestra una gráfica del nivel promedio de inventario en una terminal contra los envíos anuales desde la terminal a cada una de las nueve terminales.

¿Qué puede decir a la compañía sobre su desempeño y oportunidades en la manejo de inventarios?

26. Un distribuidor de equipo fotográfico atiende a minoristas de dos ciudades desde dos almacenes. Los minoristas son suministrados normalmente desde el almacén más cercano para ahorrar en gastos de transportación. Se poseen dos inventarios separados de los mismos productos. Aunque el distribuidor mantiene una tasa de disponibilidad promedio de 95%, las faltas ocasionales de existencias pueden dar origen a que los pedidos de los minoristas no se surtan o que se coloquen en pedidos pendientes. Dado que es altamente improbable que un artículo esté agotado en ambos almacenes al mismo tiempo, el distribuidor está contemplando la posibilidad de surtir los pedidos de los artículos agotados en una región desde el inventario de la otra, es decir, hacer surtido cruzado de los pedidos. Es posible que los inventarios del sistema sean inferiores, pero el costo extra de transpor-

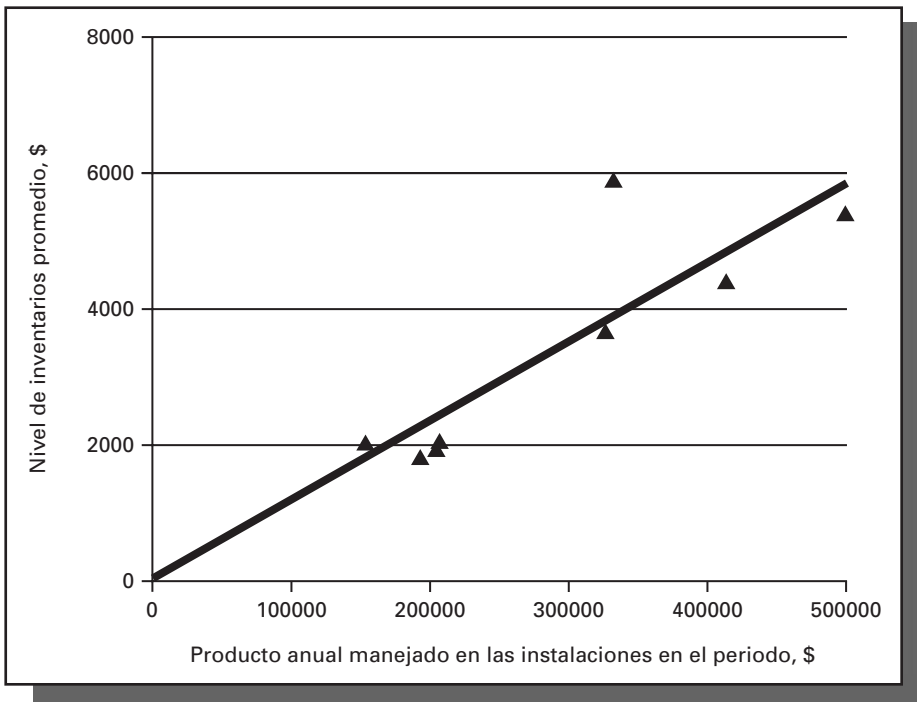


Figura 9-24 Gráfica de inventario promedio ante envíos terminales anuales.

tación de los envíos desde una ubicación secundaria tiene que equilibrarse frente a la reducción de costo de inventarios.

Para probar la idea, se selecciona una cámara (valorada en $400 en inventario). Los costos extra de envío y manejo desde un almacén secundario son de $12 por cámara. El costo de manejo de inventario es del 20% anual. El tiempo de entrega de reaprovisionamiento de esta cámara es de dos meses.

El pronóstico mensual de la demanda en la primera ciudad es un promedio de 42 cámaras, con una desviación estándar de siete cámaras. En la segunda ciudad, la demanda promedio es de 75 cámaras, con una desviación estándar de 13 cámaras. Las dos ciudades combinadas tienen una demanda estimada de 117 cámaras, y una desviación estándar de $\sqrt{7^2 + 13^2} = 15$ cámaras.

Se usa un método de punto de reorden de control de inventarios para controlar el inventario de alto valor y las cantidades de reaprovisionamiento se determinan a partir de la fórmula *EOQ*. Actualmente, se alcanza un coeficiente de rotación de inventario de seis en un inventario bien corrido ($\alpha = 0.7$).

¿Debería el artículo surtirse en forma cruzada o debería atenderse sólo desde el almacén asignado?

27. Supongamos que una compañía tiene dos de sus almacenes que le gustaría consolidar en un almacén central. Se seleccionan tres artículos de altas ventas guardados en ambos almacenes para la evaluación. A partir de los pronósticos mensuales de la demanda en los dos territorios de los almacenes, se conocen las siguientes estadísticas:

Producto	Almacén 1		Almacén 2		
	Valor mensual, en unidades	Desviación estándar mensual, en unidades	Valor mensual, en unidades	Desviación estándar mensual, en unidades	Valor del producto, unidades $/unidad
A	3,000	500	5,000	700	15
B	8,000	250	9,500	335	30
C	12,500	3,500	15,000	2,500	25

Las cantidades de pedido son determinadas localmente en cada almacén usando la fórmula *CEP* y son solicitados a vendedores separados con un costo de procesamiento de pedido de $25 por pedido. El tiempo de entrega de reaprovisionamiento promedia tres semanas, o 0.75 meses. Los costos de manejo de inventario son de 24% anual. El nivel de servicio durante el ciclo de pedido está fijado en 95 por ciento.

¿Cuánto inventario puede ahorrarse mediante la agrupación de riesgos, si el inventario se consolida en una instalación central?

28. Un distribuidor se está colocando en el canal de suministros entre sus clientes y sus proveedores. Sabe que los clientes mantienen inventarios que deberían considerarse en la planeación de sus propios niveles de inventario. Con un espíritu de cooperación, los clientes comparten sus datos de demanda final con el distribuidor. Para un artículo en particular suministrado por el distribuidor a tres clientes de su territorio, la demanda mensual para un artículo valorado en el nivel del cliente a $35 por unidad es la siguiente:

Cliente	Demanda promedio, en unidades/mes	Desv. estánd., demanda, en unidades/mes
1	425	65
2	333	52
3	276	43
Combinado	1,034	94[a]

[a] Estimado como $\sqrt{65^2 + 52^2 + 43^2} = 94$

El artículo tiene un valor un poco menor en el distribuidor ($39 por unidad), dado que algunos costos, como la transportación a los clientes, aún no se han sido añadido. El costo de manejo de inventario se estima en 20% anual en ambos niveles. El costo de colocación de los pedido a los clientes es de $50 por pedido. El distribuidor tarda en suministrar a los clientes dos semanas, pero a los vendedores les toma cuatro semanas surtir los pedidos de reaprovisionamiento del distribuidor. Los clientes fijan sus probabilidades de tener las existencias durante el ciclo de pedido en 95%, en tanto que el distribuidor usa el 90%. Ambos niveles utilizan el método de punto de reorden de control de inventarios. El distribuidor coloca los pedidos en el vendedor por 2,000 unidades para conseguir un descuento de compra.

¿Cuánto inventario de este artículo debería almacenar el distribuidor si se supone que no hay inventario en tránsito hacia los clientes?

ESTUDIO DE CASO

*Complete Hardware Supply, Inc.**

Tim O'Hare es el gerente de distribución de Complete Hardware Supply (CHS), con oficinas centrales en Cleveland, Ohio. Consolidated, Inc., una compañía asociada, adquirió recientemente CHS. La administración de Consolidated ha insistido en que se instituyan procedimientos de control más estrechos para limitar la inversión de CHS en inventarios.

CHS es un distribuidor de varios artículos de hardware a tiendas locales de hardware en el área del noreste de Ohio. Compra una gran variedad de artículos de hardware a numerosos vendedores localizados por todo el país. Los pedidos de las tiendas de hardware se surten desde los inventarios mantenidos en el almacén de CHS, en Cleveland. Históricamente, Tim ha usado un método de punto de reorden de control de inventarios para determinar las cantidades de reorden adquiridas a los vendedores y para controlar los niveles de inventarios.

Para tratar con el nuevo límite de inversión puesto a los inventarios, Tim seleccionó para sus análisis 30 artículos representativos de los 500 de la línea de productos. Recopiló los datos de la demanda, el valor de los productos y los tiempos intermedios, según se muestra en la figura 1.

El costo de preparar y transmitir un pedido de compra es de $15, y cada artículo se compra a un vendedor por separado en pedidos separados. El costo anual de la compañía para manejo de inventarios es de 25%, o 0.0048 por semana. Actualmente, Tim tiene probabilidad de 98% de tener existencias durante el tiempo de entrega como control del servicio al cliente, el cual se fijó en consulta con los vendedores de la compañía.

Los 30 productos provienen de varios puntos de vendedor-envío, de la siguiente manera:

Núm. de producto	Área de envío del vendedor	Distancia a CHS[a]
1, 2, 3, 5, 22, 23	Nueva York, Nueva York	471 mi
4,6,13	Cleveland, Ohio	25
7, 8, 9, 10, 11, 12, 20,30	Chicago, Illinois	348
19,24,29	Atlanta, Georgia	728
14, 15, 16, 18, 25, 26, 27, 28	Los Ángeles, California	2,382
17,21	Dallas, Texas	1,189

[a] Distancias aproximadas por carretera.

El tiempo de entrega para recibir un pedido de reaprovisionamiento está compuesto de tres elementos: 1) el tiempo para preparar y transmitir un pedido; 2) el tiempo para surtir un pedido en la ubicación del vendedor, y 3) el tiempo para transportar el pedido a Cleveland. Actualmente, los pedidos se preparan a mano y se envían por correo a los vendedores, sistema en el que la preparación tarda dos días y la transmisión otros dos. Se usa transporte por carretera para llevar los productos a CHS. Tarda alrededor de un día transportar el producto por cada 300 millas de distancia. El surtido del pedido por parte del vendedor requiere cinco días laborables.

Si se prorratean las restricciones que Consolidated ha puesto a todos los artículos, la inversión total para estos 30 artículos no debería exceder de $18,000. Sin embargo, para mantener las ganancias, a Tim no le gustaría tener más falta de existencias por año que la que está experimentando actualmente.

* Parafraseado según el estudio de un caso por el profesor A. Dale Flowers, Case Western Reserve University.

Número de artículo	Pronóstico de la demanda semanal	Error de pronóstico semanal,[a] desviación estándar	Precio unitario,[b]	Tiempo de entrega,[c] en días
1	18	6	$37.93	10.6
2	9	2	85.06	10.6
3	113	30	1.32	10.6
4	20	5	2.41	9.5
5	7	2	5.19	10.6
6	490	101	0.51	9.5
7	44	11	2.36	10.2
8	68	23	1.30	10.2
9	48	15	7.38	10.2
10	7	1	9.69	10.2
11	6	2	1.38	10.2
12	4	1	3.25	10.2
13	90	22	7.79	9.5
14	5	1	5.48	16.9
15	3	1	19.04	16.9
16	7	2	2.03	16.9
17	6	2	68.97	13.0
18	3	1	21.65	16.9
19	14	4	56.28	11.4
20	5	1	19.85	10.2
21	104	35	35.51	13.0
22	30	9	2.19	10.6
23	8	2	14.24	10.6
24	15	6	12.16	11.4
25	6	2	4.04	16.9
26	4	1	66.13	16.9
27	7	2	68.10	16.9
28	5	1	11.18	16.9
29	20	5	26.41	11.4
30	14	4	40.86	10.2

[a]El error de pronóstico se distribuye aproximadamente normal.
[b]Incluye una tasa de transportación a Cleveland de 5% en promedio.
[c]Los tiempos de entrega se expresan como el número promedio de días laborales. Suponemos que son cinco días laborales a la semana.

Figura 1 Datos de ventas, precio y tiempo de entrega de CHS.

Reflexionando sobre su dilema, Tim tiene varios cursos de acción abiertos para disminuir los niveles de inventario:

- Transmitir los pedidos más rápidamente
- Insistir en que los vendedores usen un método más rápido de transportación
- Reducir el error de pronóstico
- Comprometerse con el servicio al cliente

Tim puede comprar equipo electrónico (computadoras y software, máquinas de fax, etc.) por aproximadamente $1,500 (con una vida de cinco años) y reducir el tiempo de transmisión de pedidos hasta hacerlo insignificante. Por supuesto, se espera que los otros costos relacionados (EDI, conexión a Internet, teléfono, etc.) aumentarán el costo de pedido de compra de $15 a $17.

Si se hacen arreglos especiales con United Parcel Service, puede convenirse un servicio garantizado de reparto de dos días en cualquier parte de Estados Unidos. Esto afectaría a los envíos de más de 600 millas y añadiría otro 5% al precio de los artículos implicados.

Finalmente, Tim tiene información sobre un nuevo paquete de software de pronósticos que puede adquirir por $50,000. Si el software se pusiera en práctica, espera que el error de pronóstico pueda reducirse en 30 por ciento. ■

PREGUNTA

1. ¿Qué curso de acción debería tomar Tim, y cómo debería argumentar su caso a la administración de Consolidated?

*American Lighting Products**

"Me encantan este tipo de retos: eliminar el 20% de nuestro inventario de productos terminados sin afectar el servicio al cliente. ¡No sé cómo lo vamos a hacer!" Se quejó Sue Smith al analista de inventarios Bryan White. Sue acababa de regresar de una junta con el vicepresidente de finanzas, quien había dado las instrucciones, y ella ahora tenía que presentar un plan.

ANTECEDENTES

Sue y Bryan trabajan para American Lighting Products (ALP), fabricante de lámparas fluorescentes. ALP tiene dos fábricas, ambas en Ohio. La planta de la zona de Cleveland produce lámparas de gran volumen de dos, tres y cuatro patas, y las lámparas de cuatro patas equivalen a 90% de la producción. La planta de la zona de Columbus maneja los tipos de pequeño volumen, con un promedio de seis a ocho pies de largo. Entre ambas plantas, ALP ofrece más de 700 artículos de línea mediante tres canales de venta principales: comercial e industrial (C&I), al consumidor, y a fabricantes de equipos originales (OEM). El mercado C&I hace tiempo que ha sido el soporte principal del negocio; sin embargo, con el surgimiento de centros para el hogar y comerciantes de grandes descuentos, el canal del consumidor está ganando en tamaño e importancia en la estrategia general del marketing. El mercado OEM es pequeño, pero es un primer paso importante en el mercado de reaprovisionamiento, pues cuando las bombillas se queman, los clientes tienden a comprar exactamente la parte que proviene del dispositivo.

ALP es parte de una corporación más grande, American Electric Products (AEP), la cual fabrica una variedad de otros productos industriales y para el consumidor. Cada división de AEP es dirigida como un negocio único, y cada uno encaja en la estrategia general de AEP a su manera. ALP es una industria madura que suministra a AEP con un ingreso constante de sus operaciones. Aunque los ingresos ganados por la división son su principal medida para el éxito, la administración también emprende otras iniciativas importantes que se enfocan en las diversas maneras de incrementar la rentabilidad de la corporación. La última de tales iniciativas es un empuje de toda la corporación para reducir inventarios. El incremento de flujo de fondos que se conseguirá de la reducción de inventarios se mira como un factor crítico para la rentabilidad general de la compañía.

Para Sue Smith y su equipo en ALP, la iniciativa del inventario es un nuevo reto. En lo pasado, el enfoque había sido asegurarse de que los niveles de inventario fueran suficientes para cubrir los picos estacionales de la demanda y

* Preparado por Cerril Glanton bajo la supervisión del profesor Ronald H. Ballou, Weatherhead School of Management, Case Western Reserve University, como base para discusión en clase más que como una ilustración del manejo más o menos efectivo de una situación administrativa. Los datos han sido simulados.

para cubrir el cierre de tres semanas de la planta. Hasta este momento, los costos de inventario no se han monitoreado muy de cerca, por lo que reducir el nivel general de inventario es una idea completamente novedosa.

EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

ALP almacena su inventario de artículos terminados en ocho *grandes centros de distribución* (MDC, según sus siglas en inglés: Master Distribution Center) localizados en todo Estados Unidos, cada uno cubriendo ventas a toda su región. Los MDC y las ubicaciones de las plantas se muestran en la figura 1. Cada planta envía productos a los MDC en cantidades de 35,000 lámparas en camión de carga completo. Enviar en grandes cantidades permite a las plantas fabricar productos en tamaños económicos de lote. Cada una de las plantas programa su producción en incrementos semanales para minimizar el impacto de los errores de pronóstico que ocurren cuando la producción se basa en programas mensuales.

Cada MDC se establece como un eje para apoyar a su región, y el tamaño del centro se basa en el tamaño de la región que atiende. Por ejemplo, el centro de distribución de Hagerstown sirve al noreste de Estados Unidos, así como a las exportaciones a Europa y Medio Oriente. Esta gran región provoca que Hagerstown sea la ubicación con mayor inventario para ALP. En el extremo opuesto de la escala está el centro de distribución de Seattle, que atiende a la región más pequeña, y por lo tanto la menor asignación de inventario. La tabla 1 muestra los envíos anuales y el inventario de MDC.

Para facilitar el control, el inventario se expresa principalmente en cantidades de lámparas. El departamento de finanzas determina el valor promedio de una lámpara en $0.88. El costo actual de manejo de un artículo mantenido en inventario es de 18% anual del valor de la lámpara antes de impuestos.

Cuando se fabrica el producto, la cantidad asignada a un centro de distribución determinado se basa en las siguientes consideraciones:

1. El volumen de pedidos actuales de clientes que exceda el inventario disponible
2. El volumen de un inventario de los MDC que esté por debajo de los niveles básicos de existencias
3. El volumen de los pronósticos de ventas para una región de servicio de los MDC

Figura 1 Ubicaciones de los centros de producción y distribución.

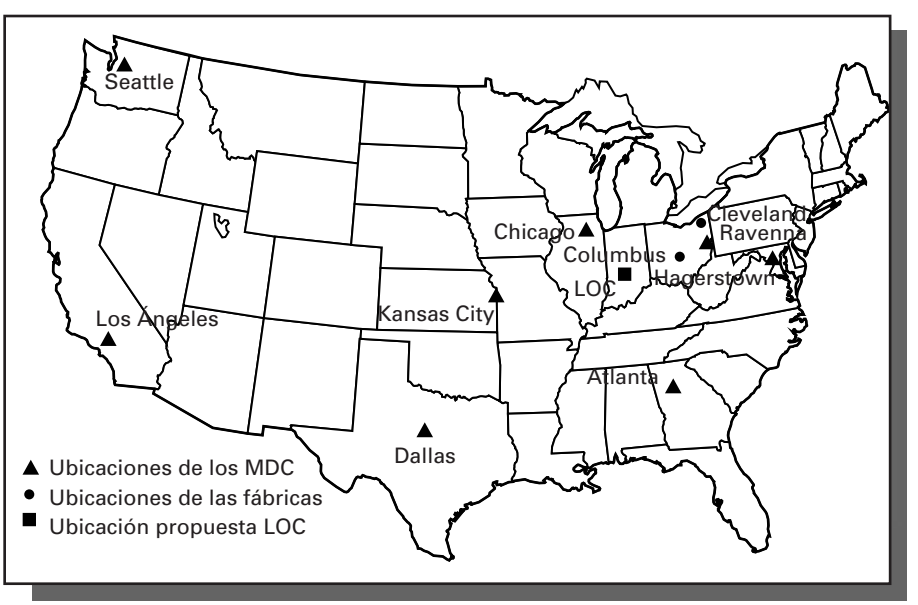


Tabla 1
Unidades despachadas anualmente e inventario promedio por MDC (en lámparas)

Centro de distribución mayor	Envíos	Inventario
Atlanta	26,070,000	3,784,333
Chicago	23,321,000	2,188,417
Dallas	13,244,000	2,159,250
Hagerstown	38,193,000	5,824,583
Kansas City	15,950,000	1,592,333
Los Ángeles	21,470,000	3,666,500
Ravenna	25,853,000	2,918,250
Seattle	4,922,000	959,833
Totales	169,023,000	23,093,499

El nivel base de existencias para cada artículo se fija en cada MDC, basado en los niveles históricos de ventas. En el caso de nuevos productos, las ubicaciones para abastecimiento se basan en los clientes objetivo y sus ventas estimadas. La suma de las existencias básicas en todos los MDC es el objetivo deseado del sistema neto de inventarios (NSO) para un producto. El NSO es el punto de reorden para que la fábrica produzca otro lote de productos. Por lo tanto, el sistema promedio de inventario para un producto es el NSO + 1/2 de un tamaño de lote. El tamaño de lote se basaba en el costo de ejecución de la planta y en las restricciones de la manufactura.

ALP tiene un sistema de pronóstico que considera los tres últimos años del historial de ventas. La administración ajusta el pronóstico cuando se espera una anormalidad conocida, por ejemplo, una promoción especial de ventas. En general, cuanto más alto el nivel del pronóstico, con más precisión pueden predecirse las ventas. Para el mercado total, la precisión del pronóstico está en el rango de 90 a 100%. Para las familias de productos, está en el rango de 70 a 90%. Para productos individuales por MDC, la precisión del pronóstico está por debajo de 50 por ciento.

Los clientes colocan sus pedidos mediante vendedores regionales, quienes envían los pedidos a un centro de coordinación de servicio al cliente. Los especialistas de cuentas del centro de servicio colocan el pedido en el sistema de pedido/envío/facturación. Mientras se introduce el pedido, ellos lo asignan al MDC que sirve a la región para ese cliente. El sistema usa el código postal del cliente para determinar el MDC apropiado. En caso de que un pedido consista en un camión de carga completo de un producto, el pedido será asignado a la planta productora de ese artículo, en vez de asignarlo a un MDC. El especialista de cuenta también introduce la fecha deseada de entrega en el lugar del cliente. Si no se requiere fecha futura, entonces el pedido es programado para su reparto inmediato.

El inventario se asigna a cada MDC, basado en el pronóstico para esa región, así como en otras consideraciones. Dado el alto error de pronóstico en el nivel de detalle del artículo, las ventas actuales podrían ser inesperadamente altas en una región y bajas en otra. Cuando esto ocurre, puede haber artículos agotados en un almacén, en tanto que hay excesivas existencias en otro, ocasionando que algunos pedidos queden como pendientes en la ubicación primaria o tengan que ser surtidos desde otra ubicación que tenga exceso de inventario.

SERVICIO AL CLIENTE

ALP mide su desempeño según la tasa de reparto a la primera, conocida en ALP simplemente como servicio al cliente. El reparto a la primera se define como la proporción de artículos de línea entregados al cliente en la fecha requerida. Si un artículo es entregado desde un origen distinto a la fuente asignada, no cuenta como entrega a la primera. Cualquier artículo de pedido pendiente tampoco es considerado como entrega a la primera. La figura 2 muestra el nivel de servicio al cliente de ALP de los dos últimos años.

El negocio de las lámparas es extremadamente competido y los clientes están siendo cada vez más exigentes con sus proveedores. Una de las exigencias es una alta tasa de entrega a la primera. El canal del consumidor espera 98% o

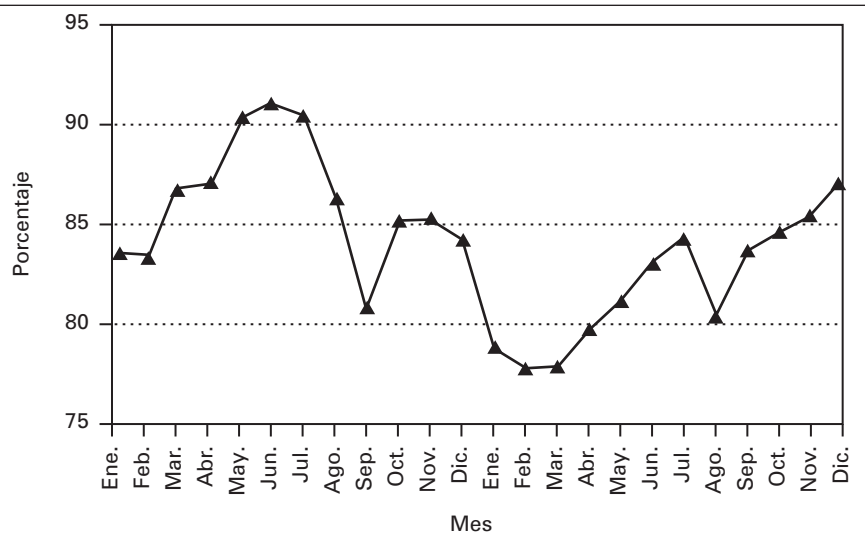
más, en tanto que C&I y los canales de OEM esperan 95% de entrega a la primera. En los últimos años, ALP ha luchado para cumplir estas expectativas. Como los clientes se van haciendo más sofisticados en sus propias políticas de pedidos y de inventarios, demandan más de sus proveedores. ALP está subiendo las expectativas. El objetivo actual es cumplir o exceder el 95% de servicio en todos los canales. Las cuentas más grandes de clientes están siendo atendidas en una tasa de 98 a 100%, pero se han necesitado inventarios y recursos extra para lograr este resultado. La tabla 2 muestra los artículos pedidos y el nivel de servicio al cliente por canal durante el año pasado.

POLÍTICAS DE INVENTARIO

Cada canal de distribución tiene necesidades y requerimientos únicos de inventarios. Por ejemplo, el canal del consumidor tiene una variedad más pequeña de productos, pero las demandas de los clientes son las más altas de la industria. Muchas cuentas de consumidores tienen una política de recepción o cancelación. Si un pedido no es entregado en el momento oportuno, se cancela y la venta se pierde. Muchos clientes también liberan sus pedidos semanalmente, basados en la información del punto de venta. Por lo tanto, un pedido liberado en viernes tiene un tiempo de entrega del lunes al miércoles siguiente. Para cumplir estas necesidades de los

Figura 2 Porcentajes de reparto a la primera por mes durante los dos últimos años.

	Mes	%		Mes	%
Hace dos años	Ene.	83.6	Año pasado	Ene.	78.6
	Feb.	83.4		Feb.	77.8
	Mar.	87.0		Mar.	77.9
	Abr.	87.1		Abr.	79.6
	May.	90.3		May.	81.0
	Jun.	91.2		Jun.	83.0
	Jul.	90.5		Jul.	84.3
	Ago.	86.4		Ago.	80.4
	Sep.	81.0		Sep.	83.5
	Oct.	85.2		Oct.	84.4
	Nov.	85.1		Nov.	85.3
	Dic.	84.3		Dic.	87.2



Por canal		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
C&I	Artículos pedidos	46307	55013	44683	54528	48492	42230	46709	50983	46792	65775	57932	47152
	B/O[a]	10795	13084	11083	11974	10173	7759	7979	11382	8719	10850	9571	6910
	%Serv.[b]	76.7%	76.2%	75.2%	78.0%	79.0%	81.6%	82.9%	77.7%	81.4%	83.5%	83.5%	85.3%
Cliente	Artículos pedidos	24709	28023	21511	23487	29644	21204	24089	25958	26182	37272	33650	25482
	B/O	4214	5081	3331	3651	4373	2801	2925	3480	3196	4797	3652	2074
	%Serv.	82.9%	81.9%	84.5%	84.5%	85.2%	86.8%	87.9%	86.6%	87.8%	87.1%	89.1%	91.9%
OEM	Artículos pedidos	1038	1396	1028	1260	1058	1019	1208	1215	1147	1526	1279	1122
	B/O	301	387	289	325	252	225	256	278	228	315	224	193
	%Serv.	71.0%	72.3%	71.9%	74.2%	76.2%	77.9%	78.8%	77.1%	80.1%	79.4%	82.5%	82.8%

[a] B/O = pedidos pendientes.
[b] %serv = % repartos a la primera.

Tabla 2 Información de los pedidos por canal

clientes, ALP se compromete a tener 4.5 semanas de inventario disponible de cada producto para sus consumidores.

En el otro extremo está el mercado OEM. En este caso, los pedidos de los clientes por lo general son de un producto y se envían como camión de carga completo. Sin embargo, OEM quiere el producto en el mismo día que llaman. Si el producto no está disponible, llaman a un proveedor de la competencia.

El mercado de C&I no está bien definido. Algunos clientes tienen programas sofisticados de pedidos, pero la mayoría usa procedimientos regulares de pedidos para reaprovisionar sus anaqueles. Los pedidos adicionales se colocan cuando un usuario final consigue cierto contrato, ya sea para un nuevo edificio o bien para un proyecto de colocación de lámparas, y necesita el producto. Si el distribuidor no lleva el articulo, o está bajo en existencias, se pide a ALP. Igual que los clientes OEM, el contratista quiere entrega inmediata.

Históricamente, la política de administración de inventario de ALP ha sido mantener sus inventarios para permitir la carga del nivel de producción, mientras soportan la dura demanda estacional. Tradicionalmente, el primero y el cuarto trimestres son las estaciones de demanda cumbre para ALP. También, dentro del perfil de inventarios están los cierres de la planta durante el verano. Cada año en verano, las dos plantas de ALP se toman dos o tres semanas para mantenimiento de equipo y vacaciones Una acumulación progresiva de inventarios precede a este periodo de cierre, para permitir un envío continuo de productos. La figura 3 muestra el sistema de niveles de inventarios por mes para los dos últimos años.

Reducir los inventarios totales 20% será un reto. Si los niveles de inventarios se cortan al azar, el servicio al cliente estará en riesgo. Incluso, aunque no hay correlación perfecta, los niveles de servicio y los niveles de inventarios están de alguna manera relacionados, por lo que la pregunta continúa: ¿Cómo puede ALP reducir sus inventarios e incrementar el servicio?

OPCIONES

Sue y Bryan están de acuerdo en que para cumplir estos nuevos retos, evaluar el sistema de distribución es un buen sitio para empezar, buscando maneras de hacer cambios que cumplan ambos objetivos. La primera alternativa que Sue y Bryan desarrollaron fue crear un *gran centro de pedidos* (LOC, por sus siglas en inglés: large order center) para las cuentas de consumidores nacionales. El LOC sería un nuevo MDC que atendería sólo cuentas de consumidores. El pensamiento detrás del LOC es consolidar los productos de los consumidores en un almacén y distribuirlos desde su ubicación central.

La ventaja es que las cuentas de consumidores por lo general tenían patrones de petición regulares y el número de los SKU (unidad de mantenimiento de existencias o código de stock,

	Mes	Inventario		Mes	Inventario
Hace 2 años	Ene.	22,886	Año pasado	Ene.	18,830
	Feb.	24,395		Feb.	18,352
	Mar.	26,869		Mar.	20,235
	Abr.	27,889		Abr.	22,196
	May.	29,490		May.	25,589
	Jun.	30,514		Jun.	27,059
	Jul.	33,142		Jul.	27,631
	Ago.	21,853		Ago.	24,141
	Sep.	21,522		Sep.	25,070
	Oct.	22,660		Oct.	23,838
	Nov.	18,766		Nov.	21,482
	Dic.	20,741		Dic.	22,699

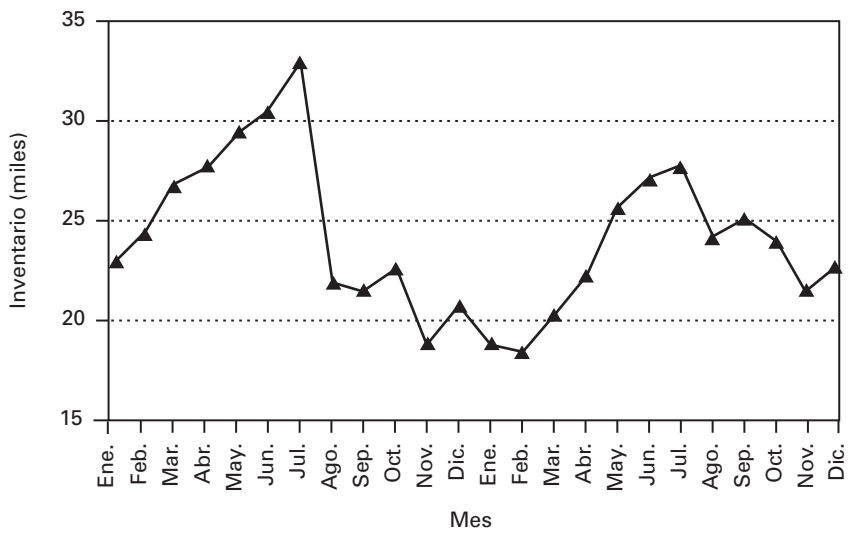


Figura 3 Sistema de inventario para los dos últimos años.

según sus siglas en inglés) pedidos por cada cuenta estaba definido al principio del año. En el sistema actual de distribución, el inventario de los artículos de los consumidores se mantiene a un nivel más alto en cada MDC. Sue y Bryan tienen confianza de que el LOC posibilitará a ALP alcanzar 98% o más del nivel de servicio al cliente para el canal de los consumidores, a la vez que reduce el inventario total, pero se desconoce cuánto inventario pueda sacarse del sistema de distribución. Basados en las ubicaciones de los almacenes de los clientes consumidores importantes de ALP, se seleccionó Batesville, Indiana, como el lugar para un futuro almacén.

El riesgo de usar un LOC es que no afecta por igual a todas las líneas de productos. En el caso de los clientes de C&I y OEM, se necesita otra estrategia. La teoría original de localizar los MDC era tener un centro de distribución en el eje de todas las regiones importantes en el país. El sistema trabajó bien a la hora de enviar el producto al cliente, pero el nivel actual de inventarios no es suficiente para mantener un nivel de servicio de 95%. Si se mantiene el sistema actual de distribución, se necesita añadir más inventario para alcanzar el objetivo de 95 por ciento. La reducción de inventarios es la mayor preocupación de la alta gerencia, por lo que esta opción no es factible. Una alternativa es reducir el nú-

Centro de distribución mayor	Tarifa de transporte, $/camión de carga	Tiempo de entrega de entrada, en días	Tiempo de entrega de salida, en días
Atlanta	600	2	2
Chicago	350	1	2
Dallas	1200	3	2
Hagerstown	475	1	2
Kansas City	700	2	3
Los Ángeles	1800	5	2
Ravenna	250	1	2
Seattle	1800	6	2
LOC	600	1	2

Tabla 3 Costo de transportación y tiempos de entrega por MDC

mero de los MDC y consolidar el inventario de tal manera que cada MDC que quede tenga un nivel de inventario mayor que antes, pero que al mismo tiempo sea menor el sistema total de inventarios.

La consolidación del MDC afecta a los costos de transportación y tiempos de entrega, así como a los niveles de inventario. Para que la consolidación de MDC sea una alternativa económica, necesita considerarse el valor dólar de la reducción de inventarios, a la luz de cualquier incremento, en los costos de transportación. Bryan y Sue investigaron los costos actuales de transportación y tiempos de entrega, y los resultados se muestran en la tabla 3. La transportación de entrada es el tiempo en tránsito desde la planta a un MDC, y la transportación de salida es el tiempo en tránsito desde los MDC al cliente. Los costos de transportación de salida no se muestran, ya que representan miles de tasas para cientos de clientes desde muchas ubicaciones de los MDC existentes y potenciales.

El tiempo de entrega de entrada varía desde un día hasta cuatro días alrededor del tiempo de entrega promedio, con una varianza promedio de 2.5 días. En el extremo de salida, la mayoría del territorio se sirve en dos días, con una varianza de un día.

Sue y Bryan saben que la consolidación de los MDC pudiera reducir el inventario total, pero también saben que la idea de construir nuevos MDC alrededor del país puede no ser fácil de vender a la alta gerencia. En ALP, la restricción de inversión es que todos los proyectos deben tener al menos una restitución de dos años.[1] Cualquier plan para lograr una consolidación MDC tiene que cumplir los criterios de inversión. Sue y Bryan presienten que la mejor estrategia es consolidar los MDC en ubicaciones ya existentes. Por ejemplo, el MDC de Chicago podría servir a su territorio y al de Kansas City desde el centro actual. Las consolidaciones como ésta minimizan la inversión necesaria.

Lo que ocurriría con el costo de almacenamiento también es otra preocupación en la consolidación de los MDC. Actualmente, el departamento de finanzas asigna un valor parejo de $0.10 por lámpara en inventario para costo de almacenamiento. Este valor cubre los gastos indirectos de los centros de distribución y la mano de obra directa necesaria para manejar el producto. Si se redujera el número de MDC, también habría reducción de los costos totales de almacenamiento para todo el sistema. Sin embargo, el MDC seleccionado como lugar de consolidación tendría costos más altos que antes de la consolidación, ya que tendría que mantener más lámparas. El lugar seleccionado es el que, actualmente tiene el mayor número de envíos entre el grupo consolidado.

Las opciones como la LOC y la consolidación de MDC han sido mencionadas antes, pero

[1] Un reembolso de dos años significa que los ahorros de los costos asociados con un proyecto deben igualar o exceder la inversión hecha en el proyecto, en el lapso de dos años.

siempre han sido descartadas a causa de los costos adicionales involucrados. La alta gerencia ha tenido la sensación de que los costos de transportación se incrementarían. Sin embargo, un análisis hecho en profundidad, y considerando la reducción de inventarios, podría arrojar una respuesta diferente. El nuevo enfoque en la reducción de inventario da la oportunidad de cuestionar el *status quo* del sistema de distribución. A un valor de inventario de $0.88 por lámpara, una reducción de inventario de 20% sería equivalente a una mejora de $4 millones en el flujo de efectivo. Sin embargo, cualquier proyecto de construcción importante que se requiera, como parte de la consolidación de los MDC, no se justificaría fácilmente en una base de restitución o reembolso de dos años. Para la administración sería aceptable consolidar la demanda en los MDC existentes, si el cambio puede ser económicamente apoyado y el servicio al cliente se mantiene al menos en los niveles actuales. Sue y Bryan saben que necesitan hallar una solución que satisfaga tanto las expectativas del cliente como los objetivos del negocio. ■

PREGUNTAS

1. Evalúe los procedimientos actuales de manejo de inventarios de la compañía.
2. ¿Se debería seguir con el plan de establecer un LOC (gran centro de pedidos)?
3. Reducir el número de ubicaciones de almacenamiento, ¿tiene el potencial de reducir los inventarios del sistema en 20%? ¿Hay suficiente información disponible para tomar una buena decisión de reducción de inventarios?
4. ¿Cómo se vería afectado el servicio al cliente por la reducción de inventario propuesta?

*Cruz Roja Americana: Blood Services**

La Dra. Amy Croxton, directora médica del centro regional de sangre de la Cruz Roja Americana para la región del norte de Ohio, localizado en Cleveland, estaba deprimida. En marzo, había tenido lugar una importante caducidad[1] de los productos sanguíneos; ahora, en abril, enfrenta una grave carencia de sangre. La importante caducidad de los productos sanguíneos en marzo y la grave insuficiencia en abril habían demostrado ser muy costosas. Ella reflexionaba sobre la misión de la Cruz Roja Americana (CRA) de "cubrir las necesidades de los estadounidenses en cuanto a servicios de sangre, plasma y tejidos lo más seguros, confiables y de mejor relación costo-efectividad, mediante donaciones voluntarias". Se preguntaba si algunos cambios en su programa de administración de inventarios de sangre reducirían los costos de operación para la CRA e incrementarían la disponibilidad de sangre para los hospitales que suministra.

INTRODUCCIÓN

La Cruz Roja Americana es una organización no lucrativa que recolecta el 48% del suministro de sangre de Estados Unidos. El resto se recolecta por medio de miembros independientes de los Centros de Sangre de Estados Unidos (35%), por miembros del Consejo de Bancos de Sangre de la Comunidad (15%) y por bancos comerciales de sangre (2%). Cada año, más de dos millones de estadounidenses hospitalizados dependen de la disponibilidad a tiempo de los distintos tipos de derivados sanguíneos adecuados en más de 6,000 bancos de sangre hospitalarios de Estados Unidos. Si los derivados sanguíneos adecuados no están disponibles cuando se requieren, entonces pueden ocurrir complicaciones médicas o retrasos en los procedimientos quirúrgicos. Esto se traduce en días extra de hospitalización y gastos.

* Este caso fue preparado con la ayuda de Manish Batra y Benjamín Flossie.
[1] El vencimiento de caducidad se presenta cuando un producto sanguíneo, debido a su edad, no es utilizable y se le declara como caduco.

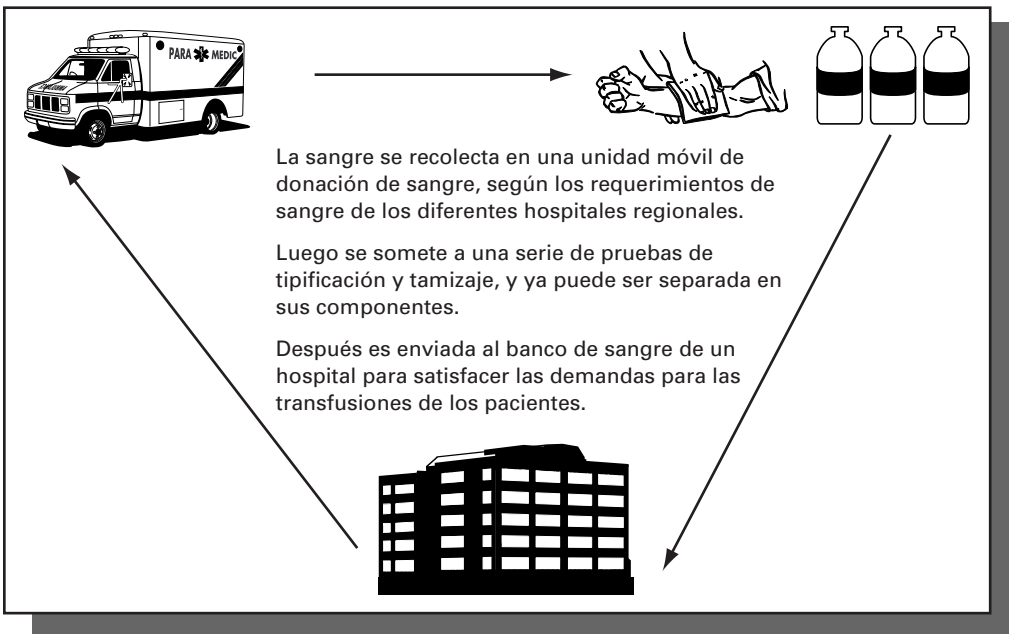


Figura 1 Recolección, pruebas y distribución de sangre.

La sangre humana es un producto perecedero. Se recolecta en unidades de una pinta por donante en lugares de colecta como iglesias, fábricas, escuelas y centros de sangre regionales; después de someterla a una serie de pruebas está lista para ser procesada y distribuida a los diferentes bancos de sangre de los hospitales de la región, según el diagrama de la figura 1.

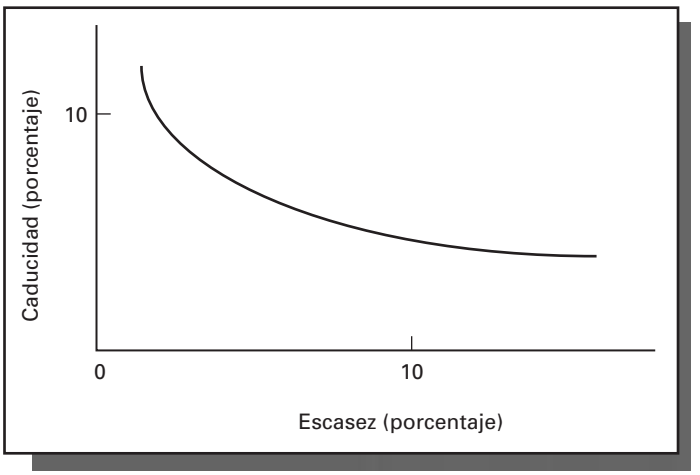
Hay ocho tipos de sangre principales, y sus frecuencias en la población de Estados Unidos varían desde 38% para O+ a 0.5% para AB–, como se muestra en la tabla 1. Los bancos regionales de sangre intentan mantener inventarios de algunos o de todos los diferentes tipos de sangre para satisfacer la demanda variable diaria de sangre sin incurrir en una excesiva caducidad. Los factores que afectan a las cantidades que tienen que mantenerse en inventario son los siguientes:

- *Demanda*. El número de unidades de sangre (1 unidad = 1 pinta) de cualquier tipo que requieren los bancos de sangre de diferentes hospitales.
- *Escasez*. Ocurre cuando la demanda excede del número de unidades de sangre en inventario.
- *Tasa de escasez*. La fracción a largo plazo (o porcentaje) de días en los cuales hay escasez, es decir, que la tasa de escasez = al número de días en los que ocurre insuficiencia ÷ el número total de días.
- *Caducidad*. Una unidad de sangre que es descartada porque excedió su vida de anaquel (por ejemplo, 35 días para sangre entera).
- *Tasa de caducidad*. La relación entre el número promedio de unidades caducadas de sangre y el número promedio de unidades recolectadas de sangre, es decir, la tasa de

Tabla 1 Frecuencia relativa de tipo de sangre en la población de Estados Unidos

Tipo de sangre	O+	A+	B+	AB+	O–	A–	B–	AB–	Total
	38%	34%	9%	4%	7%	6%	1.5%	0.5%	100%

Figura 2
Relación generalizada entre caducidad y escasez.



caducidad = al número promedio de unidades caducadas ÷ el número promedio de unidades recolectadas.

Cuando la tasa de escasez disminuye, la tasa de caducidad aumenta, y viceversa. La relación entre escasez y caducidad se muestra en la figura 2. El nivel óptimo de inventario para un derivado sanguíneo específico se encuentra como una concesión entre la tasa de escasez y la tasa de caducidad. El costo de escasez por unidad es igual al costo de adquirir una unidad (I) de otra fuente, y el costo de caducidad por unidad es igual al costo de procesar una unidad (P). El número de unidades que pueden ser procesadas y que pueden caducar para cubrir el costo de adquisición de una unidad es $I \div P$. Por ejemplo, el costo de adquirir una unidad de plaquetas desde otra fuente es de $30 y su costo de procesamiento es de $3. Dado que la relación de I con P es de 10 a 1, podrían haberse procesado y caducado diez plaquetas por el costo de adquirir una unidad desde otra fuente.

Una vez entregada a un hospital, se almacena una unidad en el inventario del hospital bajo las condiciones apropiadas. Ahora está disponible para satisfacer las necesidades de los médicos de las unidades que son reservadas para pacientes específicos. Estas requisiciones llegan al azar durante el curso de cada día, cada una en un número variable de unidades. Una vez llegada una requisición, se selecciona el número de unidades especificado del inventario, según la regla de selección FIFO (primera en entrar, primera en salir, según sus siglas en inglés) y se reserva. Las unidades solicitadas pero no usadas se devuelven al inventario al día siguiente.

Un hospital está preocupado por mantener el suficiente inventario de sangre para satisfacer la demanda variable diariamente, sin que caduque una gran fracción de la sangre perecedera. Al intentar alcanzar un acuerdo o concesión de trabajo entre la tasa anticipada de caducidad y la tasa de escasez, la mayoría de los hospitales juzgan por sí mismos determinar las cantidades que piden a la CRA. Como resultado, el sistema ideal de distribución de sangre es uno en el que un hospital requiere una cantidad precisa de sangre y la CRA intenta completar la requisición en el momento en que ocurre. Este sistema produce un alto grado de incertidumbre en la disponibilidad de sangre, y en las ineficiencias en utilizar los recursos de sangre, personal e instalaciones. Para remediar esta situación, se emplean métodos alternativos, incluyendo la administración centralizada de la sangre, en especial de los tipos raros, más que la administración por hospitales individuales; la programación previa de repartos y un sistema de distribución en el cual la sangre "circula" entre los hospitales.

La disponibilidad a tiempo y la preservación cuidadosa de la sangre son cruciales para la vida humana. Debido a que la sangre es de naturaleza perecedera, los administradores de los bancos de sangre se encuentran con que la administración de los inventarios de sangre es un

problema de gran presión. La escasez de sangre a menudo fuerza a los bancos de sangre a adoptar procedimientos de urgencia para conseguirla, los cuales provocan altos costos. El costo adicional que provoca en los pacientes los efectos adversos de escasez es difícil de medir. La sangre caducada provoca que los centros de sangre incurran en pérdidas, debido a los costos implicados en procurar, procesar y almacenar sangre.

FUENTES DE DERIVADOS SANGUÍNEOS: SANGRE ENTERA Y COMPONENTES DE LA SANGRE ENTERA

La *sangre entera* es la sangre sacada directamente del donante. Esta sangre puede separarse en varios componentes: paquete eritrocitario (hematocitos o glóbulos rojos), plasma, plaquetas, crioprecipitados, etc. La sangre entera no separada se usa directo para transfusiones sólo en casos pediátricos. De hecho, menos de 1% de las transfusiones totales usan sangre entera.

El *paquete eritrocitario* se prepara por separación centrífuga o precipitación de las células rojas del plasma. Los glóbulos rojos de la sangre se usan para pacientes con síntomas de déficit de la capacidad transportadora de oxígeno. También se usan para exanguinotransfusiones y para ayudar a restablecer el volumen sanguíneo después de importantes hemorragias.

El *plasma* es la parte líquida de la sangre. Consiste en la porción clara, anticoagulada, de la sangre que se separa por centrifugación o sedimentación, no más tarde de cinco días después de la fecha de expiración de la sangre entera. Se usa para pacientes con deficiencia de los factores de la coagulación (deficiencia de las proteínas que ayudan a la coagulación de la sangre). El plasma se almacena congelado, en tanto que el plasma líquido se refrigera. El *plasma fresco congelado* es el plasma que se separa y congela en un lapso de ocho horas después de recolectada la sangre entera. Contiene proteínas de plasma que incluyen todos los factores de la coagulación.

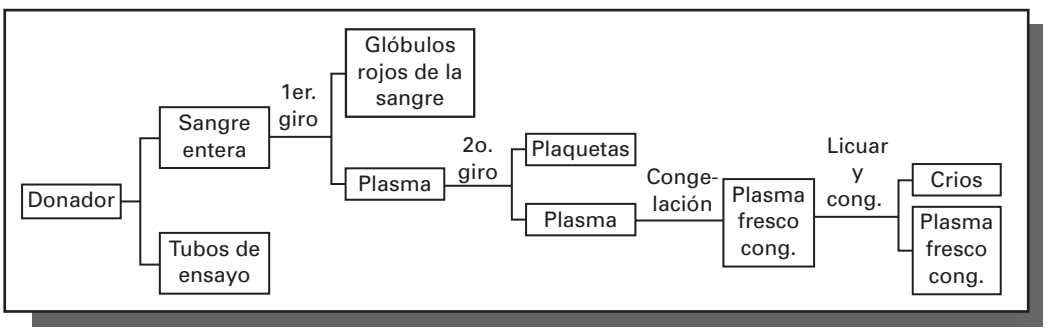
Las *plaquetas* se encuentran en un concentrado separado a partir de una sola unidad de sangre entera y suspendida en una pequeña cantidad del plasma original. Estas plaquetas también se conocen como *plaquetas aleatorias*. Se usan para pacientes con problemas de sangrado y para pacientes que requieren transfusión de plaquetas, por ejemplo, ciertos pacientes con cáncer. También se usa otro tipo de plaquetas, llamadas *plaquetas de aféresis*.

Los *crioprecipitados* (o *crio)* se preparan licuando plasma fresco congelado entre 1º y 6ºC y recuperando el precipitado. El precipitado insoluble se congela otra vez. Se usa para el tratamiento de la hemofilia y para controlar el sangrado.

Los componentes anteriores de la sangre entera se extraen de la sangre entera de manera sistemática mediante los procedimientos apropiados, los cuales incluyen la centrifugación, o giratorio, de la sangre. El proceso usado para extraer varios componentes/productos de la sangre entera se muestra en la figura 3.

El primer giro debería completarse dentro de las ocho horas y el segundo dentro de las diez horas después de sacar la sangre. Todos estos componentes son perecederos, con tiempos de vida que varían desde los cinco días (plaquetas) hasta un año (plasma y crio). Los tiempos de vida de los diferentes componentes de la sangre se dan en la tabla 2.

Figura 3 Procesos de extracción de diversos componentes y productos de sangre entera.



Producto	Tiempo de vida
Plaquetas aleatorias	5 días
Plaquetas de aféresis	5 días
Sangre entera	35 días
Glóbulos rojos	42 días
Crios	1 año
Plasma fresco congelado	1 año

Tabla 2 Tiempos de vida de varios productos sanguíneos.

Las plaquetas de aféresis tienen un tiempo de vida de cinco días y sirven para el mismo propósito que las plaquetas aleatorias. De hecho, son un producto mejor que las plaquetas aleatorias. La transfusión de una unidad de plaquetas de aféresis equivale a trasfundir seis unidades de plaquetas aleatorias. Como resultado, las plaquetas de aféresis necesitadas para una transfusión provienen del mismo donante, y por eso son más seguras de usar. En desventaja, las plaquetas de aféresis son más caras de producir. A partir de los precios de los diferentes componentes de la sangre de la tabla 3, una unidad de plaquetas de aféresis tiene un precio de $408, en tanto que su equivalente de seis unidades de plaquetas aleatorias tiene un precio de $360. Dados estos efectos enfrentados entre costo de producción y seguridad de uso, las plaquetas de aféresis compiten con las plaquetas aleatorias. Decidir los niveles de inventario para estos dos productos en competencia (cada uno con una vida corta de cinco días) es un problema crítico al que se enfrentan los bancos regionales de sangre.

Producto	Precio
Plaquetas aleatorias	$60/unidad
Plaquetas de aféresis	408
Sangre entera	169

Tabla 3 Precios de diferentes derivados sanguíneos

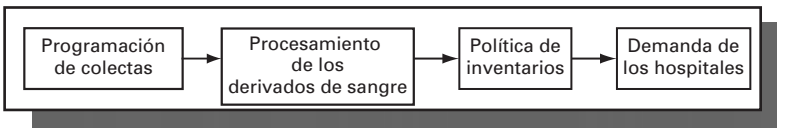
SISTEMA DE INVENTARIO DETERMINADO POR LA OFERTA

Recoger sangre para la región es una de las funciones más importantes del centro regional. Se hace mediante: 1) visitas programadas a organizaciones donde los donantes ya han firmado para dar sangre; 2) donantes que pasan a las instalaciones de donación del centro y 3) donantes invitados (o grupos de donantes) que responden a llamadas de urgencia por necesidad de sangre. Además de estas fuentes, la mayor parte del suministro del centro proviene de visitas programadas a escuelas, fábricas, iglesias y similares. Los lugares de colecta se seleccionan para su visita desde unos pocos meses hasta con un año de anticipación. La programación final debe hacerse al menos con tres o cuatro semanas de anticipación. Estos largos tiempos de entrega y la incertidumbre resultante hacen difícil recolectar la cantidad apropiada de sangre necesaria en el momento de la colecta. Dado que los donantes son voluntarios y no son rechazados, la sangre se recolecta de todos los donantes cualificados que llegan al lugar. El número de lugares de colecta no se cambia fácilmente con los requerimientos de la demanda, dado que también son de naturaleza voluntaria. Además, el número de lugares disponibles y las cantidades recolectadas varían durante todo el año. A menudo, la demanda de sangre está en su punto máximo, por ejemplo, en verano, un periodo con altas tasas de accidentes, cuando está disponible la menor cantidad de lugares (las escuelas están en descanso y las fábricas se cierran por vacaciones). Esto puede causar importantes desajustes entre la oferta y la demanda, con poca oportunidad de ajustar la oferta. Los programas de colecta no son fácilmente ajustados para reducir la oferta; y cuando la demanda excede la oferta, se hacen llamadas de emergencia a los donantes para incrementar el suministro. Ninguno de los dos casos son deseables.

Los diversos elementos que afectan a la planeación general de este sistema de inventarios determinado por la oferta se muestran en la figura 4. Todas las etapas deben estar sincronizadas para que los costos estén controlados y se satisfaga la necesidad de sangre.

Un aspecto importante de la incertidumbre en el proceso de colecta viene del hecho de que el centro programa las colectas de donantes cu-

Figura 4
Vista general del proceso de planeación.



yo tipo de sangre se conoce sólo después de que la unidad de sangre haya sido recolectada y tipificada. Esto significa que el resultado del movimiento de la sangre, en términos de unidades recogidas para cada tipo de sangre, sólo puede estimarse, aún cuando se conozca con anterioridad el número exacto de donantes. Incluso este conocimiento por lo general no es posible, dado que el número de donantes reales por lo general es menor que el número de personas que originalmente firmaron. Alrededor de 14% de la gente que firmó no puede donar sangre en ese día y son postergados. Esto puede ocurrir porque tengan anemia, no estén sanos, estén inmersos en comportamientos arriesgados, tengan presión arterial anormal o hayan donado sangre en los últimos 56 días.

DATOS DEMOGRÁFICOS DE DONANTES DE SANGRE

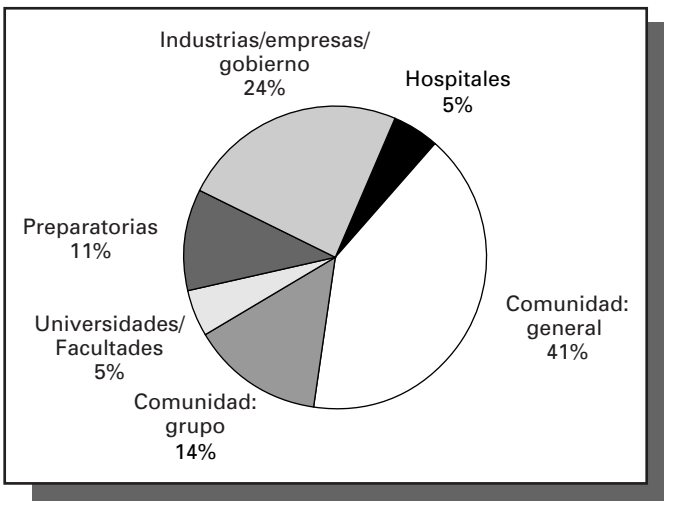
Sólo 5% de la población total de Estados Unidos dona sangre cada año. El 15% de estos donantes de sangre son donantes de primera vez, mientras que el resto son donantes de repetición. Una persona tiene que tener al menos 17 años de edad para poder donar; no hay límite superior de edad. La edad promedio de un donante de sangre es de 35 años. El 52% de los donantes de sangre son hombres. El número promedio de donaciones anuales por donante es de 1.9. Cerca del 60% de los donantes de sangre firman un contrato para ser donantes VIP (aquellos que se comprometen a donar sangre al menos cuatro veces al año). El número promedio de donaciones anuales por donante VIP es de 2.9, un número menor de cuatro, dado que no todos los donantes VIP mantienen su compromiso.

La mayoría de los donantes pertenecen a un grupo comunitario. Los donantes también provienen de preparatorias, universidades y facultades, y organizaciones hospitalarias, industriales, empresariales y gubernamentales. La figura 5 da una proporción de los diferentes grupos de donantes de sangre, basados en 203,018 unidades recolectadas por el centro regional de sangre durante un año.

UN PROBLEMA COMPLEJO DE DISTRIBUCIÓN

La complejidad de la distribución de la sangre se debe a su naturaleza perecedera, la incertidumbre de su disponibilidad en el centro regio-

Figura 5
Grupos de donantes de sangre.



nal de sangre, y la variabilidad de la demanda en cada banco de sangre de los hospitales. La situación se complica aún más por la gran variedad en el tamaño de los bancos de sangre de los hospitales suministrados, la incidencia de los diferentes grupos de sangre, los requerimientos para la sangre entera y sus diversos componentes en hospitales individuales, y la competencia con otros bancos de sangre.

Dado que la política de la CRA sobre la sangre es que sea extraída de donantes voluntarios, su disponibilidad es incierta y la donación es una función de un número de factores que no pueden controlarse por el centro regional de sangre, por ejemplo, la percepción pública de los controles de calidad de la industria de la sangre y el miedo a adquirir SIDA. La demanda y el uso de la sangre de los bancos de sangre de los hospitales es también incierta y varía de día en día y entre las instalaciones de los hospitales. Los bancos de sangre de los hospitales dentro de una región pueden clasificarse desde aquellos que transfunden unos pocos cientos de unidades anuales a los que transfunden decenas de miles de unidades al año.

MÉTODO GENERAL PARA EL MANEJO DE INVENTARIOS DE SANGRE

Los servicios de transfusión por todo Estados Unidos se caracterizan por la diversidad. Cada centro regional de sangre ha desarrollado independientemente sus propias filosofías y técnicas para la distribución de sangre. Cada región se esfuerza por ser autosuficiente en el suministro de las necesidades de sangre de los hospitales en su región, a partir de sus donantes regionales. A causa de estos factores, es esencial que cualquier estrategia ideada para la administración de los inventarios sea defendible desde el punto de vista tanto del centro regional de sangre, como desde cada uno de los amplios rangos de bancos de sangre hospitalarios a los que sirve. Además, cualquier estrategia que incluya interacciones entre los centros de sangre regionales debe proporcionar beneficios claramente definidos para todos los participantes. Además, es deseable que la estrategia implementada se caracterice por dos conceptos: la rotación de derivados sanguíneos entre los bancos de sangre de los hospitales y las entregas preprogramadas a los bancos de sangre hospitalarios.

En el caso de pequeños usos de los bancos de sangre de los hospitales (éstos representan la mayor parte del uso general de sangre), cualquier estrategia que coloque los productos de sangre para retenerse hasta que sean trasfundidos o caduquen provocará una baja utilización. En consecuencia, se requiere alguna forma de rotación de sangre por medio de la cual la sangre recientemente procesada se envíe a los bancos de sangre de los hospitales, desde los cuales pueda regresar algún tiempo más tarde para redistribuirse según la estrategia regional. También es deseable que una porción importante de las entregas periódicas de los bancos de sangre de los hospitales sea programada con anticipación. De esta manera se reduce la incertidumbre del suministro para quienes se enfrentan a los bancos de sangre de los hospitales, con una mejora que resulta de la planeación de las operaciones y de la utilización de sus recursos.

La caducidad de la sangre no es deseable y la CRA intenta evitarlo intensamente. Las incertidumbres en la oferta y la demanda pueden ocasionar que haya demasiada sangre que exceda su fecha de uso aceptable. Esto por lo regular ocurre para tipos específicos de sangre. Es decir, el tipo de sangre O+ puede tener poca oferta y el tipo AB+ puede tener exceso de inventario y es probable que caduque. Hay algunas oportunidades en el momento en que se recolecta la sangre para convertirla en sus productos derivados, considerando los diferentes niveles de demanda anticipada del producto y la cantidad de inventario del producto disponible. Sin embargo, todavía puede caducar. Cuando esto ocurre, hay diferentes opciones disponibles cuando la fecha de expiración se aproxima. Primero, algunos productos pueden convertirse en otros con una vida de anaquel más larga, por ejemplo, la sangre entera puede convertirse en plasma. Segundo, los derivados sanguíneos pueden venderse a otras regiones de la Cruz Roja Americana, especialmente a aquellas que tengan déficit crónicos de suministro de sangre. Tercero, algunos (pero no todos) de los productos pueden venderse a laboratorios de investigación. Cuarto, pueden venderse a un precio reducido. Vender los productos fuera de la región local, generalmente, provoca menos ingresos que si hubieran sido usados para satisfacer la demanda local.

Tabla 4 Distribución del producto de la CRA a sus mayores clientes, en número de unidades de glóbulos rojos de sangre suministradas a sus seis clientes más grandes durante un año.

HOSPITALES	GLÓBULOS ROJOS	TOTAL
A	30,000 unidades	15.00%
B	14,500	7.25
C	10,000	5.00
D	9,000	4.50
E	8,500	4.25
F	8,000	4.00
Otros	120,000	60.00
Total	200,000 unidades	100.00%

CENTRO REGIONAL DE SANGRE DE LA CRUZ ROJA AMERICANA EN CLEVELAND, OHIO

El centro regional de sangre de la Cruz Roja Americana en Cleveland suministra componentes de sangre a más de 60 hospitales en la región norte de Ohio. Provee más de 200,000 unidades de glóbulos rojos al año, de las cuales casi 40% son utilizadas por los seis hospitales más grandes (véase tabla 4). El centro regional decide qué niveles de inventario debería haber en los hospitales, basado en sus datos anteriores de demanda y uso. Hay dos opciones disponibles para cualquier hospital que trate con la Cruz Roja Americana.

Opción 1. El hospital decide sus niveles normales de inventario basado en el uso anterior, y lleva el riesgo de caducidad. La sangre es enviada diariamente para reaprovisionar cantidades reducidas y llevar los inventarios a sus niveles normales. Esta opción es típicamente elegida por los hospitales que aplican desde unos pocos cientos de transfusiones hasta dos mil unidades de sangre por año.

Opción 2. El hospital tiene pedidos constantes, o un contrato para que le sea entregado un número predeterminado de unidades de cada componente sanguíneo todos los días. Este número predeterminado de unidades se ajusta trimestralmente, basado en el uso anterior. Esta opción es la elegida por los hospitales que aplican desde unas dos mil transfusiones a decenas de miles de unidades de sangre por año.

MANEJO DE INVENTARIOS EN EL CENTRO DE SANGRE REGIONAL DE LA CRA EN CLEVELAND, OHIO

En el manejo del inventario en el centro regional de sangre de la CRA se utiliza un método de planeación de arriba hacia abajo (véase figura 6), lo cual implica planear colectas para el año próximo con el fin de cubrir las carencias y caducidades que pudieran ocurrir en un día en particular.

Planeación anual

Un uso estimado para el próximo año se obtiene de los 60 hospitales a los que la CRA suministra en Cleveland. Luego, mediante los datos históricos de la demanda y el uso estimado para el año siguiente, se planean las recolectas para el año siguiente. Para esto se considera: 1) a los donantes que podrían ser pospuestos debido a en-

Figura 6 Método de planeación arriba-abajo para la manejo de inventarios.

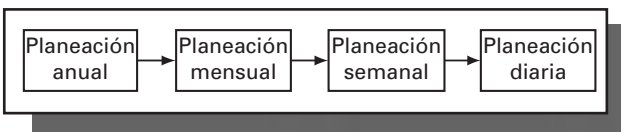
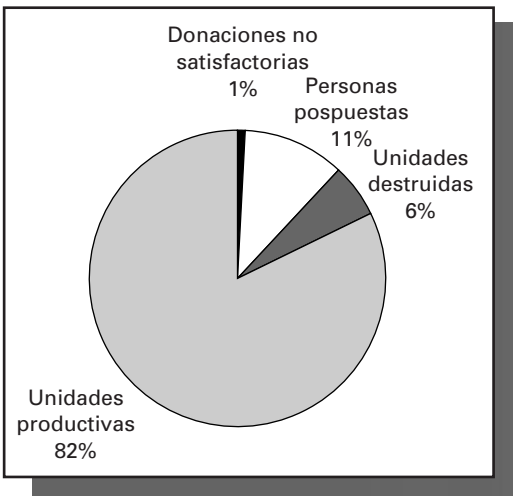


Figura 7
Reclutamiento y análisis de las colectas.



fermedad o a que hayan donado sangre recientemente; 2) a las unidades de sangre que pudieran destruirse durante las pruebas, y 3) a las donaciones que podrían ser insatisfactorias porque se recolecte menos de una pinta. La figura 7, basada en los 233,352 donantes anualmente, muestra que sólo 82% de las colectas estimadas llegan a ser unidades productivas.

Planeación mensual

La planeación mensual implica anticiparse un mes y asegurarse de que cada día laborable (de lunes a viernes) del siguiente mes se excedan las colectas estimadas en un número predeterminado de unidades. Este número predeterminado de unidades se obtiene de promediar los requerimientos anuales por el número de días laborales durante un año. Si en un día particular del mes siguiente, las colectas estimadas son menores que el número predeterminado de unidades, la CRA intenta reclutar donantes para ese día. Las colectas se hacen en sábados y domingos, pero generalmente no se recolectan tantas unidades los fines de semana como durante la semana.

Planeación semanal

La planeación semanal implica observar los niveles de inventario de varios tipos de sangre, planeando la producción de los componentes de la sangre y la distribución a los diferentes hospitales para toda la semana. Se hace una proyección de la demanda al principio de la semana. Luego se planean las colectas y la producción basadas en la demanda proyectada de esa semana.

Planeación diaria

La planeación diaria implica observar el inventario y tomar la acción apropiada en caso de escasez y de productos cercanos a su fecha de caducidad. Durante cada envío se genera un informe diario del inventario (véase la tabla 5), que da el inventario de cada derivado sanguíneo por tipo de sangre. En cada envío de plaquetas, y al menos una vez al día para todos los demás productos, se genera un informe del inventario de productos (véase tabla 6), que da el inventario de un producto según tipo de sangre y fecha de caducidad. Diariamente se genera un informe de envíos (véase la tabla 7) que da el número de unidades de cada derivado sanguíneo enviado a los diferentes clientes de la CRA el día anterior. Cada día también se genera un informe de producción, que da el número de unidades producidas por tipo de sangre para un derivado en particular.

La política FIFO se sigue para todos los productos, a menos que sean reemplazados por un pedido continuo, el cual haya sido surtido con unidades relativamente frescas (al menos con tres días más de vida de anaquel para las plaquetas y 21 días para glóbulos rojos). Un inventario, igual al menos en tres veces la demanda promedio diaria, es mantenido para cada

Producto	O+	A+	B+	AB+	O–	A–	B–	AB–	Total
Glóbulos rojos	472	1,349	99	539	142	91	83	105	2,880
Plaquetas aleatorias	77	67	16	17	13	14	2	9	215
Plasma	185	398	246	217	46	85	45	50	1,272
Plaquetas de aféresis	4	7	5	0	1	3	0	0	20
Crios	478	346	106	22	119	72	25	11	1,179

Tabla 5 Ejemplo de un informe de inventario diario de cada producto por tipo de sangre (en unidades)

producto y tipo de sangre. Si el inventario cae por debajo de tres veces la demanda promedio diaria, se dice que hay escasez. Además, si el inventario cae por debajo de la demanda promedio diaria es una urgencia, o escasez crítica. Esto puede requerir procedimientos de urgencia para el reclutamiento de donantes.

A los productos que tienen excedente de inventario o que están cerca de sus fechas de caducidad algunas veces se les reduce el precio. Esto puede ser un descuento de $20 en glóbulos rojos de tipo de sangre A+ para reducir el exceso de inventario, o puede haber 50% de descuento en plaquetas que estén cerca de su fecha

Tabla 6 Ejemplo de un informe de inventario de productos por tipo de sangre y fecha de caducidad (en unidades)

Producto	Fecha caducidad	O+	O–	A+	A–	B+	B–	AB+	AB–	Total
Plaquetas aleatorias	02/15	—	—	4	—	2	—	—	—	6
Plaquetas aleatorias	02/16	48	7	5	3	35	11	4	2	115
Plaquetas de aféresis	02/17	—	—	—	—	—	2	—	—	2
Plaquetas aleatorias	02/18	6	1	4	—	6	3	2	1	23
Plaquetas aleatorias	02/19	84	16	65	19	34	5	11	1	235
Plaquetas de aféresis	02/19	3	1	3	3	2	—	—	—	12

Tabla 7 Ejemplo de informe sobre el número de unidades diarias de cada producto de sangre enviado a los diferentes clientes de la CRA

Hora del pedido	Hora de envío	Número de cliente	Glóbulos rojos/sangre	Plaquetas aleatorias	Plaquetas de aféresis	Plasma congelado	Crios
12:28 a.m.	01:06 a.m.	19	0	12	0	0	0
01:33 a.m.	02:24 a.m.	31	57	0	0	0	0
02:16 a.m.	03:12 a.m.	31	1	0	0	0	0
01:38 a.m.	03:28 a.m.	5	94	0	0	0	0
02:19 a.m.	04:19 a.m.	5	1	0	0	0	0
01:32 a.m.	05:48 a.m.	20	25	0	0	0	0
07:06 a.m.	08:06 a.m.	6	12	0	0	0	0

	Glóbulos rojos	Plasma cong.	Crios	Plaquetas aleat.	Plaquetas aféresis
Número total de pedidos recibidos	704	236	175	325	266
Número de pedidos levantados al 100%	651	233	175	306	252
Porcentaje surtido al 100%	92.47	98.73	100.00	94.15	94.74

Tabla 8 Tasa de surtido determinada por el número de pedidos surtidos al 100%, comparados con el número total de pedidos recibidos para cada categoría de producto, en marzo

de caducidad. También puede iniciarse un envío en consignación.

DETERMINACIÓN DEL SERVICIO AL CLIENTE EN LA CRUZ ROJA AMERICANA

La manera en la que se determinan los niveles de servicio al cliente en los centros regionales de sangre de la CRA es mediante el cálculo de una tasa de surtido al cliente. Se hace de dos maneras:

1. La tasa de surtido se da por la relación existente entre el número de pedidos surtidos al 100% y el número total de pedidos recibidos para cada categoría de producto en un mes dado. Se calcula para cada una de las cinco categorías de productos (véase tabla 8).

2. La tasa de surtido se da por la relación existente entre el número de unidades enviadas y el número de unidades requeridas por el cliente. Los glóbulos rojos constituyen el único producto para el cual la tasa de surtido se calcula por tipo de sangre, o ABO/Rh (por ejemplo, para cada uno de los ocho tipos de sangre). Para las otras cuatro categorías del producto, no se ha hecho el análisis de la tasa de surtido por tipo de sangre, o ABO/Rh, (véase la tabla 9).

El centro regional de sangre desarrolla estándares para la tasa de surtido por categoría de cliente, por categoría de producto, y por tipo de sangre (o ABO/Rh para los glóbulos rojos). Este porcentaje puede variar para los diferentes clientes (dependiendo del estándar negociado de las tasas de surtido incluidas en el contrato del cliente con la región), por producto, y por

Tabla 9 Tasa de surtido determinada por el número de unidades enviadas comparadas con el número de unidades solicitadas por cada categoría de producto, en marzo.

Glóbulos rojos	O+	A+	B+	AB+	O–	A–	B–	AB–	Total
Unid. solicitadas	2673	2988	2058	0	2425	270	247	56	10717
Unidades enviadas	2461	2752	1864	0	1801	234	202	46	9360
Tasa de surtido, %	92.07	92.10	90.57	—	74.27	86.67	81.78	82.14	87.34
Estándar reg. para la tasa de surtido, %	90	100	95	100	75	85	80	85	88.75
Dif. de porcentaje	2.07	–7.90	–4.43	—	–0.73	1.67	1.78	–2.86	–1.41

	Plasma congelado	Crios	Plaq. aleatorias	Plaq. de aféresis
Unidades solicitadas	345	325	285	517
Unidades enviadas	326	325	267	495
Tasa de surtido, %	94.49	100.00	93.68	95.74
Estándar reg. para la tasa de surtido, %	100	100	95	98
Diferencia de porcentaje	–5.51	0.00	–1.32	–2.26

ABO/Rh. Luego se calcula la diferencia entre el estándar negociado (o el estándar por contrato) en el centro regional de sangre y el desempeño actual del centro regional de sangre. La supervisión de las tasas de surtido suministra información valiosa para el centro regional de sangre en su continuo esfuerzo por mejorar el servicio al cliente.

COMPETITIVIDAD

La Cruz Roja Americana garantiza a sus clientes una tasa de surtido promedio de 97%, que opera acorde a su misión establecida. Los bancos de sangre locales más pequeños no son capaces de competir con la CRA, por la alta tasa de surtido de ésta. Sin embargo, dado que los bancos locales de sangre tienen menores costos fijos y no suministran ninguna garantía de nivel de servicio a sus clientes, compiten con la CRA en el precio. La CRA necesita recolectar las cantidades y las mezclas de derivados sanguíneos demandados por los hospitales (a causa de su alto nivel de servicio al cliente), en tanto que los bancos de sangre locales recolectan lo que pueden. Muy a menudo, los hospitales buscan el precio más bajo, y los bancos locales de sangre pudieran capturar su negocio, o parte de él, ya que ofrecen precios más bajos que la Cruz Roja Americana.

CONCLUSIÓN

La doctora Coxton se percató de que necesitaba hacer algo importante que protegiese su estrategia de planeación. La cantidad de sangre caducada que tuvo lugar en marzo la molestó. Los voluntarios donaron sangre con buenas intenciones, pero una buena parte de la sangre caducó. En abril, cuando intentaba reducir la caducidad, ocurrió escasez extrema, que ocasionó pérdida de ingresos y pérdida del buen nombre o imagen. No podía olvidar que esto era un negocio con un punto crítico y que tiene que cubrir los costos, ¿o estaba gradualmente llegando a ser como cualquier otro negocio donde el objetivo es hacer ganancias? Nunca antes había habido competencia entre los servicios de sangre. ¿Cuál era la mejor manera de manejar el suministro de sangre? ¿Cómo deberían fijarse los precios de cara a la competencia? Ella sabía que las respuestas a algunas de las preguntas anteriores no eran fáciles y que tenía que pensar mucho. ■

PREGUNTAS

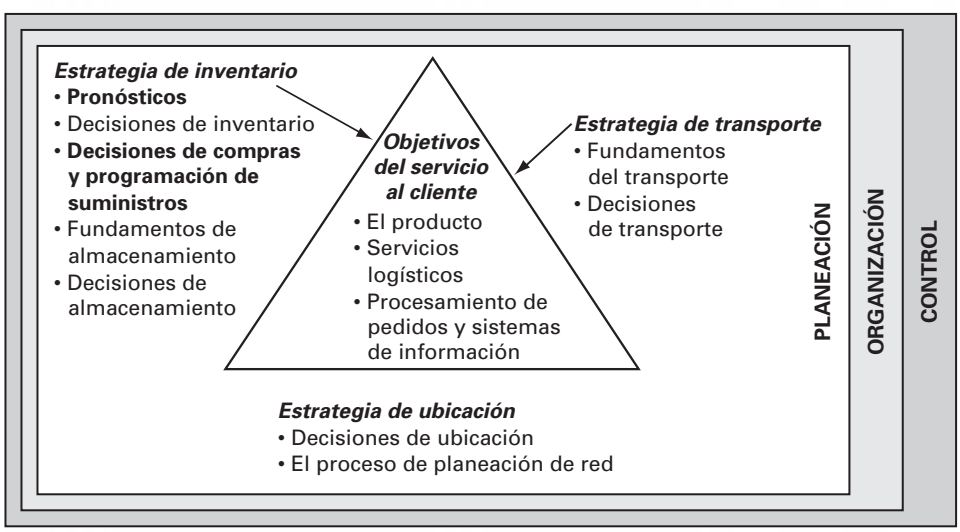
1. Describa el problema de manejo de inventarios con el que se enfrentan los servicios de sangre de la Cruz Roja Americana.
2. Evalúe las prácticas actuales del manejo de inventarios a la luz de la misión de la CRA.
3. ¿Puede sugerir cualquier cambio en las prácticas de planeación y control de inventarios de la CRA, que pudiera llevar a la reducción de costos o a mejoras del servicio?
4. ¿Es la política de fijación de precios un mecanismo apropiado para controlar los niveles de inventario? En caso afirmativo, ¿cómo debería determinarse el precio?

Capítulo 10

Decisiones de programación de compras y de suministros

La coordinación del flujo de bienes y servicios entre las instalaciones físicas es un asunto importante en el manejo de la cadena de suministros. La decisión de las cantidades que se moverán, el momento de moverlas, la forma de moverlas y las ubicaciones de donde serán adquiridas son preocupaciones frecuentes. Estas decisiones de programación se presentan dentro de la cadena de suministros y su buen manejo implicará la coordinación con otras actividades dentro de la empresa, en especial con producción. En este capítulo analizaremos la forma en que pueden manejarse tales problemas de programación.

Además, se considera el proceso de compras como una actividad dentro del proceso de programación. Incluso cuando el proceso de



compras es principalmente un proceso de adquisición, muchas de sus decisiones afectan en forma directa al flujo de bienes o servicios dentro de un canal logístico. Por esto sólo se analizan decisiones seleccionadas y se sugieren métodos de solución. La función completa de compras no puede cubrirse en este capítulo, por lo que se orientará al lector sobre uno de los muchos libros de texto sobre el proceso de compras para un análisis más completo.[1]

Coordinación en la cadena de suministros

La buena coordinación entre la producción, marketing, compras y todas las demás actividades de la cadena de suministros no puede enfatizarse en exceso. Con frecuencia, las interrelaciones entre estas actividades se presentan al grado de que la optimización de una actividad individual puede presentarse en perjuicio de una o de muchas de las otras actividades. No reconocer esta interrelación puede afectar en forma negativa el desempeño de la cadena de suministros. Para cierta compañía, las políticas de compras y las reglas de programación de la producción interactuaban de tal forma que el ejecutivo responsable de los transportes de la compañía pensó que sólo la inadecuada capacidad de transportación era el motivo de una mala programación dentro de la cadena de suministros. Sin embargo, se logró un mejor suministro logístico cuando los elementos de la programación de la producción, del proceso de compras y de transporte se llevaron a un balance adecuado. Considere a mayor detalle, a partir del ejemplo siguiente, el efecto que una mala coordinación puede tener sobre las actividades en el canal.

Ejemplo

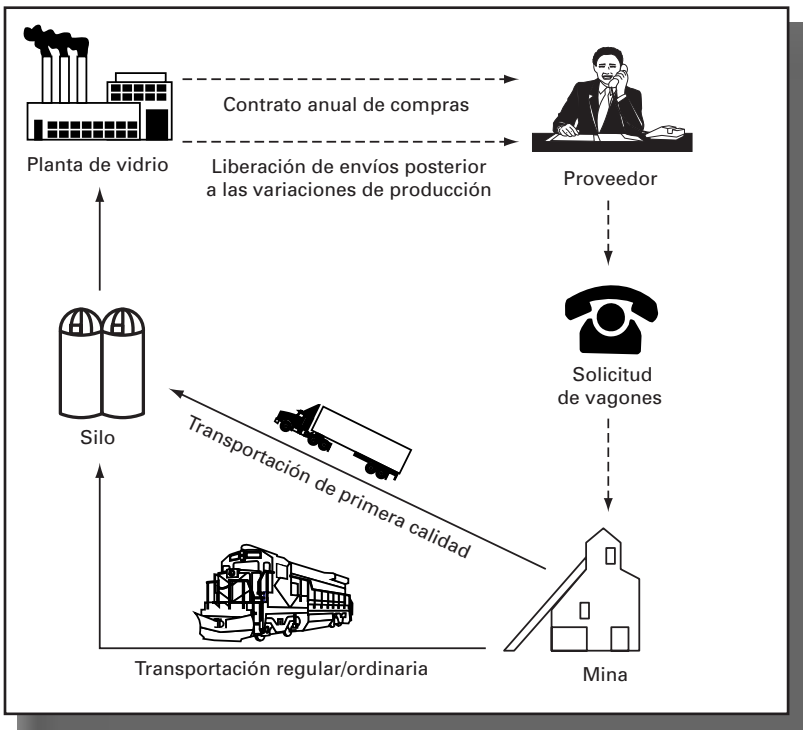
La empresa Anchor Hocking, fabricante de vidrio, produce una línea de vajillas para el mercado de consumo local. La demanda de sus productos se mantuvo razonablemente constante a lo largo del año, con una ligera estacionalidad de la demanda en las épocas del año cuando se reparten obsequios.

La principal materia prima consiste de arena (75%); piedra caliza (15%), y carbonato de calcio (10%). La arena se adquiere en forma local, la piedra caliza en forma regional y el carbonato de calcio de unas minas en Wyoming. Estos materiales se enviaron utilizando vagones de ferrocarril según lo programó la producción contra un contrato anual de compra. Los proveedores conocían la cantidad que se les compraría en forma anual, pero los fabricantes de vidrio decidían el momento en el que se les liberarían (enviarían) los materiales.

El ciclo de suministros del carbonato de calcio se muestra en la figura 10-1. Después de que los programas de producción en las distintas plantas liberan una solicitud de envío a un proveedor, éste lo envía de inmediato, siempre y cuando se encuentren disponibles vagones cerrados en la propiedad. De no ser así, se haría una solicitud de vagones al ferrocarril local. Si no hubiera vagones disponibles, se utilizaría transportación de primera calidad por medio de camiones de carga. Los materiales de preproducción se almacenan en silos con una capacidad promedio de entre tres y seis días de actividad de producción. Debido a la relativamente pequeña capacidad de producción y al alto costo de detener un

[1] Michiel R. Leeders, Harold E. Fearon y Anna Flynn, *Purchasing and Supply Management*, 12a. ed. (Homewood, IL; Irwin, 2001); y Robert Monczka, Robert Trent, Robert Handfield, *Purchasing and Supply Chain Management*, 2a. ed. (Mason, OH: South-Western, 2002).

Figura 10-1
Ciclo de materiales para un fabricante de vidrio.



horno de vidrio cuando los materiales no están disponibles, se evitó cualquier retraso potencial para cumplir los requerimientos del programa de producción utilizando transportación de primera calidad con su mayor costo asociado. Debido a la escasez percibida de vagones de ferrocarril en el sistema ferroviario del país, la dirección de la empresa está dispuesta a invertir en sus propios vagones y colocarlos en servicio dedicado.[2] La pregunta que le surge a la dirección es: ¿Cuántos vagones de ferrocarril se necesitan para minimizar el costo de la transportación de primera calidad?

La pregunta supone que la capacidad de vagones era la respuesta al marcado incremento de los costos de la transportación de primera calidad. Hasta cierto grado, así era. Sin embargo, una cuidadosa investigación mostró que los programadores de la producción en las plantas no permitían los 14 días entre el tiempo que el material es enviado por parte de un proveedor y el momento en que se necesitaría en producción. De hecho, sólo se permitían cerca de cinco días, los cuales eran inadecuados para enviar el carbonato de sodio de Wyoming a las plantas en el Este. Los programadores de la producción parecían estar reaccionando a los requerimientos de la producción en vez de anticiparse en forma adecuada a ellos. Incrementar la capacidad de los silos de manera que se pudiera almacenar un inventario adicional no resultaba práctico debido al alto costo de inversión. Por esto, sin un cambio en los procedimientos de programación, podría justificarse una inversión en 82 vagones. Si se utilizaran técnicas adecuadas de planeación de requerimientos

[2] Estos vagones serían propiedad de la compañía, pero el ferrocarril podría desplazarlos con un descuento respecto de su tarifa ordinaria.

para guiar las liberaciones de envíos, sólo se necesitarían 40 vagones. Con disciplina en la metodología de liberación de envíos se reduciría en 42 el número de vagones necesarios, bajando en esta forma a la mitad la inversión potencial.

La lección del caso de estudio de Anchor Hocking es que procedimientos deficientes de programación de la producción pueden ocasionar una inversión innecesaria en equipo de transporte. El responsable de la transportación estaba intentando resolver el problema al adquirir más capacidad de transporte. Se requirió la coordinación entre todas las actividades que afectaban al abastecimiento físico para llegar a una adecuada solución al problema.

Programación de los suministros

La popularidad de los conceptos de justo a tiempo, rápida respuesta y compresión de tiempo destaca a la programación como una actividad muy importante dentro de los canales de suministro. La programación para atender requerimientos es una alternativa para cubrir los requerimientos provenientes de los inventarios. Cada uno representa los puntos terminales dentro de un rango de alternativas consideradas para cubrir la demanda, o los requerimientos de una cadena de suministros. En el capítulo 9 se puso atención a los conceptos de manejo de inventarios, por lo que ahora nos enfocaremos en las técnicas de programación denominadas como planeación de requerimientos, las cuales pueden minimizar el inventario necesario dentro de una cadena de suministros.

Dentro de la cadena de suministros, los requerimientos de producción (o en el caso de empresas de servicio, los requerimientos de operaciones) representan la demanda que deberá satisfacerse. Un gerente de materiales por lo general satisface esta demanda de dos maneras. En primer término, los suministros se programan para que se encuentren disponibles justo cuando se requieran para la producción. Una técnica popular para manejar la mecánica del proceso de programación es la planeación de requerimientos de materiales. En segundo término, se atienden los requerimientos con los suministros mantenidos en inventario. Las reglas de reabastecimiento de inventario mantendrán los niveles de almacén. Estas reglas especifican cuando y en qué cantidades los materiales fluirán dentro de la cadena de suministros.

Muchas empresas utilizan ambos métodos de manera simultánea. Para ilustrar esto, considere la forma en la que un fabricante de motores industriales controló su producción.

Ejemplo

La división de equipo de potencia de Lear Siegler Corporation producía una línea de motores de potencia fraccional para utilizarse en limpiadores y pulidores de pisos. Estos motores se vendían como subcomponentes a otros fabricantes, quienes elaboraban el producto terminado. Por ello, los motores se fabricaban a la medida de las especificaciones de los compradores. Los compradores por lo general realizaban las órdenes a la empresa con varios meses de anticipación a sus necesidades, para asegurar que se cumplieran sus calendarios de producción. Los motores estándar podían predecirse con una precisión razonable y luego podrían fabricarse para ventas anticipadas.

Con esta información se preparaba un programa compilado (también llamado plan maestro de producción) para los siguientes tres meses. Este programa compilado, junto

con una lista de materiales para cada pedido de motor, mostraba al responsable de programar la producción cuántos componentes y cuándo se necesitarían. En este punto, el responsable verificaba el inventario disponible para los suministros necesarios. Normalmente, cerca de 3,000 de un total de 3,300 partes, o aproximadamente 90% de ellos, se encontraba disponible mediante inventario. Las 300 partes restantes eran artículos críticos de alto valor y eran específicos de cada orden, como el eje del motor. Estos artículos se colocaban en una lista de faltantes del proveedor hasta que efectivamente se recibieran y estuvieran disponibles para la producción. Lo mismo sucedía para cualquier material que no estuviera disponible en el inventario.

Para compensar la duración del tiempo de entrega o tiempo intermedio, el responsable de programar la producción emitía una orden de liberación de compra al departamento de compras, de forma que los suministros se programaran para llegar según lo necesitaba la producción. Cuando todos los materiales, partes y suministros estuvieron a la mano, el programador de la producción liberaba las órdenes de los clientes a producción para su fabricación y ensamblado. A medida que los almacenes reducían su inventario, se reabastecían de acuerdo a una política de control de inventarios mín-máx.

La función del área de compras era seleccionar las fuentes de suministro, desarrollar procedimientos de pedidos, negociar precio y términos de venta, especificar los servicios de transporte a utilizar y estimar los tiempos de entrega. En este caso, el área de compras coordina, con la programación de la producción, el flujo de materiales dentro de la cadena de suministros. La relación de la programación de la producción con el suministro de materiales se ilustra en la figura 10-2.

Programación de los suministros justo a tiempo

La programación justo a tiempo (JAT) es una filosofía operativa alterna al uso de inventarios, para cumplir el objetivo de contar con los bienes adecuados en el lugar adecuado en el momento adecuado. Es una forma de administrar la cadena de suministros de materiales, que originalmente fue popularizado por los japoneses, debido quizá a las circunstancias económicas y logísticas particulares que han prevalecido en ese país en los últimos 40 años. La programación justo a tiempo puede definirse como

> una *filosofía* de programación donde la cadena entera de suministros se encuentra sincronizada para responder a los requerimientos de operaciones o de clientes.

Se caracteriza por

- Relaciones cercanas con pocos proveedores y transportistas.
- Información que es compartida entre compradores y proveedores.
- Producción/compras frecuentes y transporte de bienes en pequeñas cantidades con niveles resultantes de inventario mínimos.
- Eliminación de incertidumbre en lo posible a lo largo de la cadena de suministros.
- Objetivos de alta calidad.

Las cantidades económicas de reabastecimiento se llevan hacia cantidades unitarias a medida que la configuración de la producción y los costos de compra y de pedido se reducen a niveles insignificantes. Donde existen economías de escala en compras o producción, estas economías se explotan al máximo utilizando unos cuantos proveedores que por lo

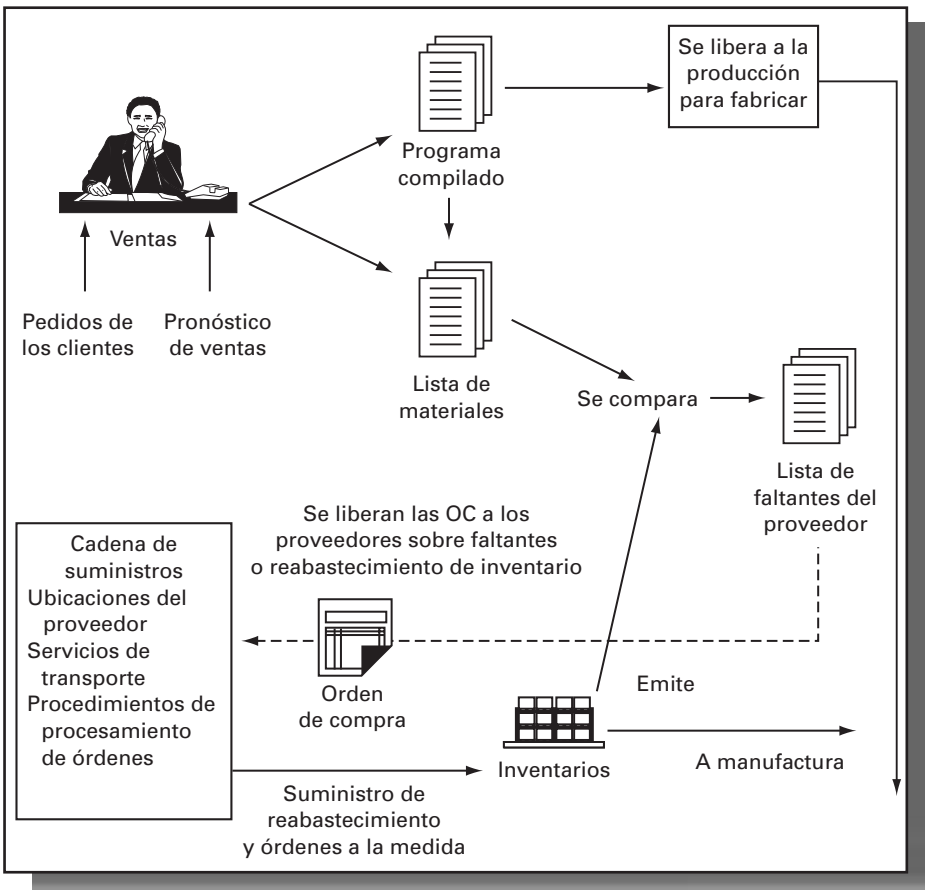


Figura 10-2 Relación del programa de producción con el suministro de materiales.

general se encuentran ubicados en proximidad física a los puntos de demanda del comprador. Se desarrolla una relación de trabajo cercana con relativamente pocos proveedores y transportistas. La información proveniente del comprador, en particular en la forma del programa de producción/operación, se comparte con los proveedores de manera que ellos puedan anticiparse a las necesidades del comprador, reduciendo en esta forma el tiempo de respuesta y su variabilidad. Se espera que los pocos proveedores seleccionados se desempeñen con poca variación para proporcionar entregas a tiempo. El efecto general de la programación bajo una filosofía de justo a tiempo es crear flujos de productos que se encuentren cuidadosamente sincronizados con sus demandas. Aunque con probabilidad se invierte mayor esfuerzo para manejar la cadena de suministros bajo una filosofía JAT que bajo una filosofía de suministros para inventario, el beneficio será operar el canal con un mínimo inventario con los ahorros relacionados, las mejoras en el servicio, o ambos. Sin embargo, algunos de los beneficios que recibe el fabricante podrían ser resultado de la transferencia de los costos e inventario a los proveedores de la parte superior de la cadena de suministros.

Aplicación

General Motors, fabricante estadounidense de automóviles, decidió poner en marcha un sistema de programación de suministros justo a tiempo cuando proyectó un rediseño importante de uno de sus automóviles de mayor venta. Se reabrió una planta de manufactura anteriormente utilizada, demasiado pequeña para los estándares actuales, después de instalarle puertas a lo largo de un extremo del edificio. Esto permitió que los materiales se desplazaran una corta distancia a la línea de producción; sin embargo, había poco espacio para los inventarios de producción. Se construyó un almacén de fase temporal cerca de las instalaciones de ensamblado al que llegarían los materiales de los proveedores y serían desempacados antes de desplazarlos, bajo demanda, a la línea de ensamble.

Se realizó una reducción importante del número de proveedores y transportistas (de unos cuantos miles a unos cientos de ellos), y los proveedores no podían encontrarse más allá de 300 millas de distancia de la planta. Por ejemplo, se seleccionó un proveedor como proveedor único de pintura. Sin embargo, esta posición privilegiada llegó con un precio. Se exigió que el proveedor de pintura mantuviera un inventario cercano a la planta de ensamblado. Para apoyar en la planeación del proveedor, el fabricante de autos le proporcionó un programa futuro de producción de autos. Esto estableció un nivel de confianza entre el proveedor y el comprador que por lo general no es común en la industria.

Ejemplo

Hewlett-Packard aplicó conceptos de programación justo a tiempo a las operaciones de su centro de distribución. Durante un periodo de un año y medio, la compañía fue capaz de lograr una reducción de 40% en el inventario de bienes terminados, 2% de crecimiento compuesto mensual en su productividad laboral y una mejora de 44% en la calidad de los envíos al cliente.[3]

Kanban

KANBAN es el sistema de programación de la producción de Toyota y quizás el ejemplo más conocido de programación justo a tiempo. KANBAN en sí es un sistema de control de la producción basado en tarjetas. Una tarjeta KAN indica al centro de trabajo o proveedor que produzca una cantidad estándar de un artículo. La tarjeta BAN solicita que una cantidad estándar predefinida de una parte componente o subensamble sea llevada a un centro de trabajo. Estas tarjetas se utilizan como disparadores para la producción y para el movimiento de los artículos.

El sistema de programación KANBAN/JAT utiliza el método de punto de reorden del control de inventario para determinar las cantidades estándar de producción-adquisición e implica costos de configuración muy bajos y tiempos de entrega muy cortos. Algunas características adicionales lo hacen tan efectivo como un sistema justo a tiempo. En pri-

[3] Patrick Guerra, "Just-in-Time Distribution", *Annual Proceedings*, Vol 1 (St. Louis: Council of Logistics Management, 27-30 de octubre de 1985), pág. 444.

mer lugar, los modelos dentro del programa maestro de producción se repiten con frecuencia y se comparan con un programa hecho para tomar ventaja de las economías de escala. Es decir, un programa de modelos de producto A y B que explota economía de escala y reduce costos de configuración/preparación podría ser

AAAAAAABBBBBBBAAAAAAABBBBBBBAAAAAAABBBBBBB

Sin embargo, el programa KANBAN podría verse como:

ABABABABABABABABABABABABABABABABABABABAB

En segundo lugar, los tiempos de entrega son altamente predecibles debido a que éstos son cortos. Los proveedores se ubican cerca del sitio de operaciones y las entregas pueden realizarse en forma frecuente, a menudo una vez por hora, sin incurrir en un fuerte gasto de transporte.

En tercer lugar, las cantidades ordenadas son pequeñas debido a que los costos de configuración/preparación y de abastecimiento se mantienen bajos. Ya que las cantidades ordenadas están relacionadas con los costos de configuración o de abastecimiento, éstas se convierten en el objetivo para la reducción de costos. Pequeñas cantidades ordenadas significan bajos inventarios. El método clásico de punto de reorden del control de inventarios se utiliza para fijar las cantidades de reabastecimiento.

En cuarto lugar, se emplean pocos proveedores, con altas expectativas de ellos. Se desarrolla un alto nivel de cooperación entre el fabricante y el proveedor para asegurar que se logre el nivel deseado de producto y de desempeño logístico.

La programación justo a tiempo se encuentra en oposición al método de suministro para inventario para la programación. Recuerde, son alternativas, ninguna es necesariamente mejor que la otra.

Observación

Ya que los sistemas justo a tiempo operan con niveles mínimos de inventario y pocos proveedores, el riesgo de suspensión inmediata del canal por interrupciones de la cadena de suministros es muy grande. Toyota se encontró en riesgo de suspender 20 plantas automotrices cuando un incendio consumió la principal fuente de suministro de una válvula crucial de frenado con valor de $5 USD. Pero cinco días después del incendio, las fábricas reiniciaron de nuevo. El secreto para esto yace en la unida familia de los proveedores de partes de Toyota. En el equivalente corporativo de una acción comunitaria de algún grupo religioso, los proveedores y las compañías locales se apresuraron al rescate. En horas, ya habían comenzado a formar diseños para la válvula, improvisando sistemas de herramientas y estableciendo líneas de producción improvisadas. Treinta y seis proveedores, apoyados por más de 150 subcontratistas, contaron con cerca de 50 líneas independientes produciendo pequeños lotes de la válvula de frenado. La rápida recuperación se atribuye al poder del grupo, el cual manejó el problema sin pensar en el dinero o en los contratos de negocio.[4]

[4] Valerie Reitman, "Toyota's Fast Rebound After Fire at Supplier Shows Why it is Thoug", *Wall Street Journal*, 8 de mayo de 1997, pág. A1.

Tabla 10-1 Comparación de las filosofías de programación del suministro KANBAN/JAT y la programación de suministro para inventarios

FACTORES	PROGRAMACIÓN KANBAN/JAT	PROGRAMACIÓN DE SUMINISTROS PARA INVENTARIO
Inventario	Es un pasivo. Debe hacerse todo el esfuerzo posible para deshacerse de él.	Es un activo. Protege contra errores de pronósticos, problemas de equipo y entregas tardías del proveedor. Contar con más inventario es "más seguro".
Tamaño del lote, cantidades adquiridas	Cumple necesidades inmediatas solamente. Se desea una cantidad de reabastecimiento mínima tanto para los bienes fabricados como para los adquiridos, pero se determina a partir de la fórmula CEP/EOQ.	Cantidades determinadas por las economías de escala o a partir de la fórmula CEP/EOQ. No se hace ningún intento por modificar costos de configuración para lograr cantidades más pequeñas de producción o de adquisición.
Configuraciones	Las hace insignificantes. Esto requiere una conversión extremadamente rápida para minimizar el impacto sobre las operaciones, o disponibilidad de máquinas extra ya configuradas. La conversión rápida permite pequeños tamaños de lote para que se practique y permite que se fabrique una amplia variedad de partes.	Una prioridad baja. Generalmente el objetivo es maximizar la producción, de forma que los costos de configuración serían una consideración secundaria.
Inventario de trabajo en proceso	Los elimina. Cuando existe una pequeña acumulación de inventario entre procesos, surge rápidamente la necesidad de identificar y corregir problemas.	Una inversión necesaria. La acumulación de inventario entre los procesos permite que las operaciones subsecuentes continúen en el caso de un problema con operación de alimentación. También, al proporcionar una selección de trabajos, la dirección de la fábrica tiene una mayor oportunidad de coordinar distintas habilidades de un operador y distintas capacidades de una máquina, y de combinar configuraciones para contribuir a la eficiencia de la operación.
Proveedores	Se consideran como compañeros de trabajo. El proveedor se ocupa de las necesidades del cliente y el cliente trata al proveedor como una extensión de su fábrica. Se emplean pocos, pero el riesgo de interrupciones en el suministro puede incrementarse.	Se mantiene una relación distante profesional. La regla es contar con múltiples fuentes y existe la práctica de ponerlos a competir para obtener los precios más bajos.
Calidad	El objetivo son cero defectos. Si la calidad no está al 100%, la producción y la distribución estarán en riesgo.	Se toleran algunos defectos para mantener los productos fluyendo y para evitar costos excesivos por garantizar un alto nivel de calidad constante.
Mantenimiento del equipo	El mantenimiento preventivo o la capacidad en exceso es esencial. La suspensión temporal del proceso pone en riesgo las operaciones subsecuentes cuando no se cuenta con un inventario que actúe como amortiguador.	Según se requiere. No es crítico dado que se mantienen los inventarios.
Tiempos de entrega	Los mantiene cortos. Esto incrementa los tiempos de respuesta a lo largo del canal de suministros/distribución y reduce la incertidumbre y la necesidad de inventarios de seguridad.	Largos periodos de espera no son serios ya que pueden ser compensados con inventarios adicionales.

Planeación de requerimientos

A mediados de los años 1970, la planeación de requerimientos que se ha realizado por años se formalizó como planeación de requerimientos de materiales (PRM). Aunque PRM se refiere a la programación del suministro, su base lógica es diferente de la de KANBAN. Es un método principalmente utilizado para programar partes, materiales y suministros de alto valor y hechos a la medida, cuya demanda se conoce relativamente bien. El propósito de PRM, desde un punto de vista logístico, es evitar en lo posible mantener estos artículos en inventario. En teoría, no necesitan crearse los inventarios cuando la cantidad y el momento de los requerimientos del producto final se conocen. Compensados por el tiempo de entrega de la solicitud de las partes, materiales y suministros, los requerimientos del producto final pueden cumplirse en el momento en que se desarrollan. El tiempo preciso del flujo de materiales con objeto de cumplir requerimientos de producción es el principio detrás de la planeación de requerimientos de materiales.

PRM es una importante alternativa de programación a la filosofía de programación de suministro para inventario. Excepto por la forma en la que se utilizan los procedimientos de control estadístico de inventario en KANBAN, estos no funcionan tan bien en el canal de suministros físico como lo hacen en el canal de distribución físico. El motivo es que los supuestos sobre los que se basa el control estadístico de inventario con frecuencia no se cumplen. Es decir, la demanda no es regular, aleatoria, independiente e imparcial. En vez de ello, los patrones de demanda para las partes, materiales y suministros que forman parte de los productos finales se derivan de la demanda de producto final.

Los patrones de demanda derivada surgen del entendimiento de que un número predeterminado de partes, materiales y suministros, según los especifica la lista de materiales, formarán parte de un producto terminado. Por ello, los patrones de demanda para estos materiales de producción son irregulares. Si se utilizaran procedimientos de control estadístico de inventarios para fijar los niveles de inventario, estos niveles serían inaceptablemente altos debido a la alta variación de los irregulares patrones de demanda.

Esta irregularidad de la demanda también puede ser ocasionada por la aplicación de políticas de inventario estándar a múltiples niveles dentro del canal de distribución de suministros. Para ilustrar esto, considere la figura 10-3. Un producto final se almacena dentro de un almacén de campo y se controla utilizando un procedimiento de control de inventarios de punto de reorden. El resultado de esta política será el envío intermitente de pedidos de reabastecimiento para los inventarios en la planta. Si únicamente unos cuantos almacenes se reabastecen desde los almacenes de planta o si los pedidos provenientes de múltiples almacenes se presentaran en forma simultánea, se obtendría un patrón de disponibilidad de inventario de tipo escalonado, según se muestra en la figura 10-3(b). En consecuencia, el inventario de suministro para un componente que participa en la producción de un producto final deberá ser aún mayor para cumplir los requerimientos de producción originados mediante el reabastecimiento de los inventarios de producto final de la planta [ver figura 10-3(c)]. Debido al intermitente agotamiento de componentes en el inventario, deberán mantenerse altos niveles de inventario aun cuando éstos no se utilicen. Si la velocidad de agotamiento del nivel de inventario pudiera anticiparse en forma aproximada, los componentes podrían ordenarse justo antes de que se agotaran, con un ahorro sustancial resultante en los costos de mantenimiento del inventario.

Mecánica del PRM

Sólo hasta hace poco tiempo, la metodología de planeación de requerimientos de materiales se formalizó a pesar de que el concepto de planeación de requerimientos se ha aplicado durante años, el cual puede describirse como

> . . . un método formal y mecánico de programación de suministros por medio del cual se sincroniza el momento adecuado de las adquisiciones o de la producción para cumplir los requerimientos operativos, periodo a periodo, mediante la compensación de la solicitud de suministro por parte de los requerimientos, con la duración del tiempo de entrega.

PRM también se ha denominado planeación de reabastecimiento por fases. Muchos proveedores de software de computadora (por ejemplo, SAP) ahora cuentan con programas que fácilmente pueden instalarse en un ambiente de producción para manejar la aritmética de PRM para miles de artículos. Para ilustrar los conceptos básicos del método, considere un ejemplo simplificado.

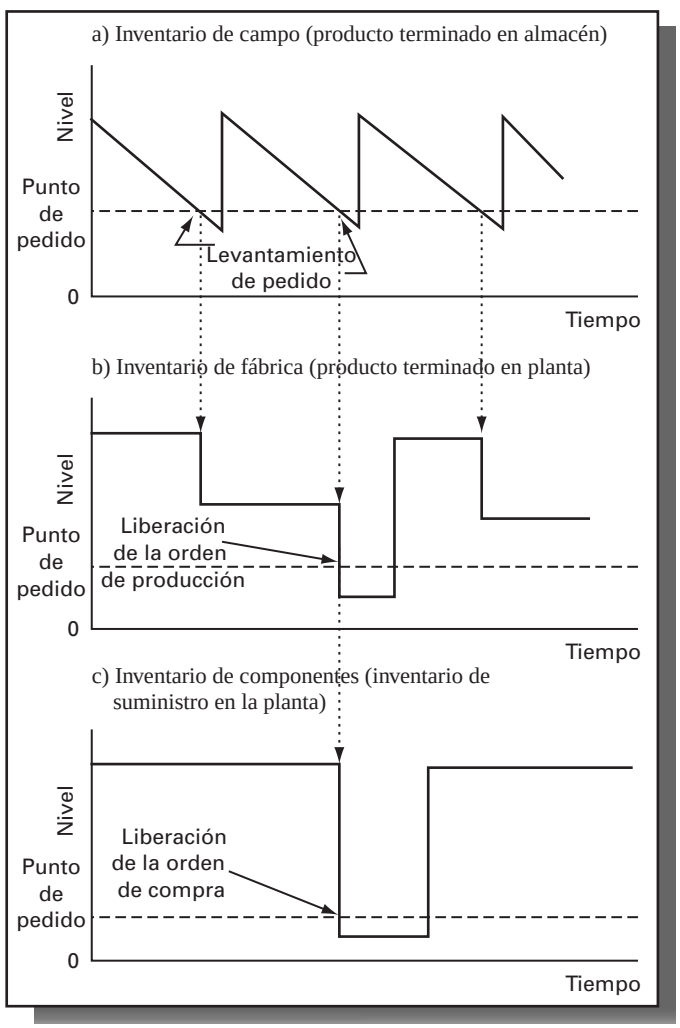


Figura 10-3
Demanda irregular para un componente cuando el producto final se encuentra bajo control de punto de reorden.

Ejemplo

La empresa Colonial Clocks produce y distribuye, mediante catálogos, una línea de reproducciones de auténticos relojes mecánicos. Dos estilos de relojes, el M21 y el K36, utilizan el mismo mecanismo de reloj, el R1063. Dado que estos mecanismos se desgastan o se dañan con el uso, hay demanda independiente de reemplazo del mecanismo de 100 unidades por semana. Colonial ensambla el M21 y el K36 en cantidades de producción mínimas, pero el mecanismo de reloj se adquiere de un proveedor externo sujeto a una cantidad mínima de compra. La demanda estimada para el M21 y el K36 para las siguientes ocho semanas se menciona a continuación.

Semanas a partir de hoy	M21	K36
1	200	100
2	200	150
3	200	120
4	200	150
5	200	100
6	200	90
7	200	110
8	200	120

A continuación se presenta otra información importante de cada artículo:

Reloj estilo M21

Cantidad mínima de producción = 600 unidades

Tiempo de producción = 1 semana

Inventario disponible = 500 unidades

Recepciones programadas = 600 unidades en el periodo 2

Reloj estilo K36

Cantidad mínima de producción = 350 unidades

Tiempo de producción = 2 semanas

Inventario disponible = 400 unidades

Recepciones programadas = 0 unidades

Mecanismo de reloj R1063

Cantidad mínima para orden de compra = 1,000 unidades

Tiempo de entrega de compra = 2 semanas

Inventario de seguridad = 200 unidades que se mantendrán en todo momento

Inventario disponible = 900 unidades

Demanda de partes de servicio = 100 unidades por semana

La pregunta crítica para Colonial es: ¿cuándo y en qué cantidades deberán liberarse las órdenes de compra a los proveedores?

La metodología PRM comienza con un árbol de estructura de producto (lista de materiales) que define las relaciones de cantidad entre los componentes y el producto final,

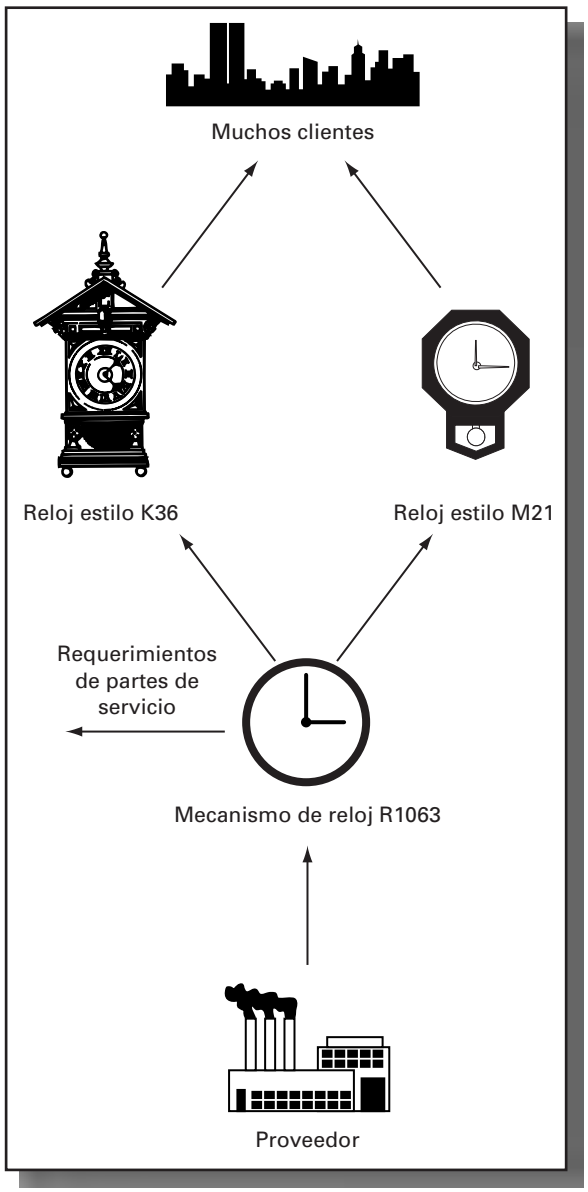


Figura 10-4
Árbol de estructura de producto y relaciones de cantidad para los relojes de Colonial.

como se muestra en la figura 10-4. Considerando sólo un componente (el mecanismo de reloj), su demanda derivada proviene de la producción de los dos modelos de reloj más los requerimientos de partes de servicio. De esta forma, si se conoce cuándo y en qué cantidades se producirá cada modelo, se puede desarrollar un programa para la adquisición de los mecanismos de reloj. Para organizar estos eventos en tiempo-fase y para llevar

Figura 10-5
Cálculos para determinar las liberaciones de producción planeadas para el reloj estilo K36.

a) Forma PRM inicial

		Semana							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimientos de reloj brutos		100	150	120	150	100	90	110	120
Recepciones programadas									
Cantidad disponible	400								
Liberaciones de producción									

b) Forma PRM completa

		Semana							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimientos de reloj brutos		100	150	120	150	100	90	110	120
Recepciones programadas					*350*				
Cantidad disponible	400	*300*	*150*	*30*	*230*	*130*	*40*	*280*	*160*
Liberaciones de producción			*350*			*350*			

un registro de los materiales que ingresan, de los materiales disponibles y de los requerimientos que deben cumplirse, se utiliza una tabla de base, como la de la figura 10-5(a). Los requerimientos proyectados para el reloj K36 se muestran en sus respectivos "cuadros de tiempos" (intervalos de tiempo que representan una semana o un mes). También se anotó el actual inventario disponible de estos relojes.

Para cumplir estos requerimientos de producto final se necesita desarrollar un programa de producto que muestre el momento en el que debe comenzar la producción, así como el momento y la cantidad en que deberán estar disponibles los mecanismos de reloj. Para hacer esto, comience con la semana 1 y sustraiga los requerimientos para la semana 1 del inventario disponible. Registre la cantidad disponible como se muestra en la figura 10-5(b). Este procedimiento se repite para cada semana subsecuente hasta que la cantidad proyectada disponible, cae por debajo de cero. En este momento, se necesitará una recepción programada de relojes K36 terminados. Debido a que se requiere un tiempo de entrega de dos semanas para la producción, los mecanismos de reloj deberán estar disponibles para la producción, dos semanas con anticipación de la recepción programada. Producción determinará la cantidad del tamaño de lote. La recepción programada se añade a la cantidad disponible de forma que se encuentre disponible suficiente inventario para cubrir los requerimientos. Las cantidades disponibles decrecientes continúan hasta la semana 7, momento en el que deberá planearse otra recepción programada. Y así continua hasta el final del horizonte de planeación.

Reloj estilo K36

Cantidad mínima de producción = 350 unidades
Tiempo de producción = 2 semanas
Inventario disponible = 400 unidades
Recepciones programadas = 0 unidades

Figura 10-6
Cálculos para determinar las liberaciones de producción planeada para el reloj estilo M21.

		Semana							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimientos de reloj brutos proyectados		200	200	200	200	200	200	200	200
Recepciones programadas			*600*				*600*		
Cantidad disponible	500	*300*	*700*	*500*	*300*	*100*	*500*	*300*	*100*
Liberaciones de producción planeadas						*600*			

A continuación, el procedimiento se repite para el reloj estilo M21, como se muestra en la figura 10-6. Las principales diferencias aquí serán que una recepción anteriormente programada se presenta en la semana 2, y que la compensación del tiempo de entrega es una semana.

Con las liberaciones planeadas de producción ahora conocidas para ambos estilos de reloj podrán desarrollarse los requerimientos brutos para el mecanismo de reloj para cada semana. Es decir, las liberaciones para el K36 y para el M21 están agrupadas dentro de la semana correspondiente de los recuadros temporales de requerimientos brutos del R1063. A éstos se suma la demanda de partes de servicio. Una vez que se establecen los requerimientos brutos proyectados, los cálculos para determinar el momento y la cantidad en que deberán adquirirse los mecanismos de reloj, proceden igual que para el K36 y el M21. El resultado será colocar una orden de compra por 1,000 unidades en las semanas 2 y 3 (figura 10-7).

Reloj estilo M21

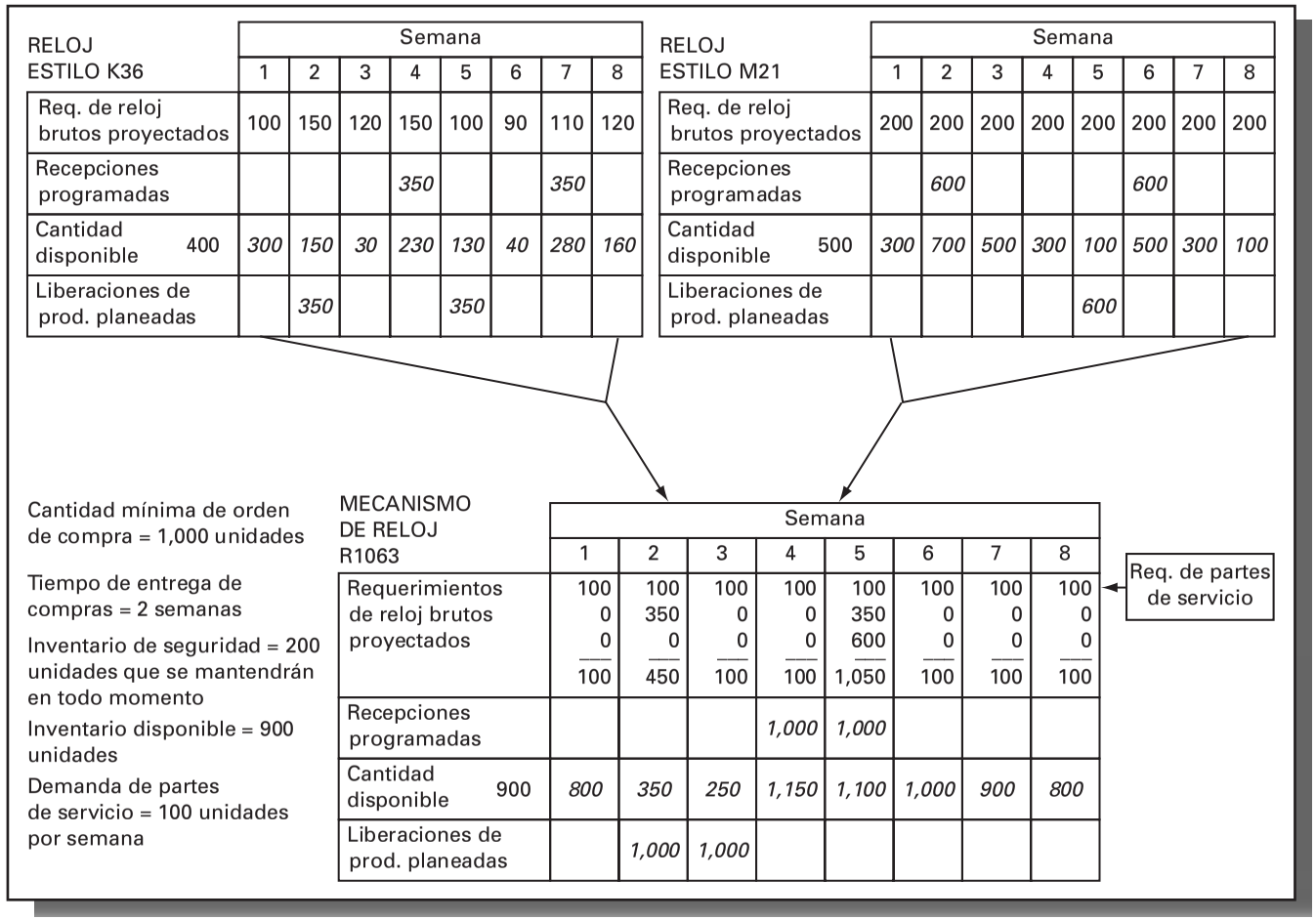
Cantidad mínima de producción = 600 unidades
Tiempo de producción = 1 semana
Inventario disponible = 500 unidades
Recepciones programadas = 600 unidades en el periodo 2

Ahora deberá estar claro que el flujo de materiales se controla mediante la compensación de la duración del tiempo de entrega que toman los requerimientos de materiales. Se asume que los requerimientos de producto final se conocen con certeza así como los tiempos de entrega. Los tamaños de lote de producción-compras están predeterminados. Incluso aunque se supone una certidumbre, los efectos de la incertidumbre en los niveles de requerimientos y en los tiempos de entrega siempre están presentes. Las tarifas de transporte fraccionadas pueden alterar la cantidad de liberación de orden. Considere la forma en la que el método PRM podría ser modificado para manejar estas realidades.

Incertidumbre de demanda en la PRM

El método de PRM, para obtener el momento adecuado para las compras, asume que se conocen los requerimientos en el programa maestro. En la medida en que éstos puedan variar a lo largo del horizonte de planeación, se requerirá cierto inventario de seguridad si se desea cumplir con los requerimientos. Si la variabilidad de los requerimientos puede representarse mediante una distribución de probabilidad, entonces la cantidad del inventario de seguridad necesaria dentro del programa podrá determinarse de manera similar al control de inventario. Sin embargo, esto podría no ser práctico, debido a que es proba-

Figura 10-7 Determinación de los requerimientos brutos y liberaciones de órdenes de compra para los mecanismos de reloj R1063.



RELOJ ESTILO K36

	Semana							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Req. de reloj brutos proyectados	100	150	120	150	100	90	110	120
Recepciones programadas				*350*			*350*	
Cantidad disponible 400	*300*	*150*	*30*	*230*	*130*	*40*	*280*	*160*
Liberaciones de prod. planeadas		*350*			*350*			

RELOJ ESTILO M21

	Semana							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Req. de reloj brutos proyectados	200	200	200	200	200	200	200	200
Recepciones programadas		*600*				*600*		
Cantidad disponible 500	*300*	*700*	*500*	*300*	*100*	*500*	*300*	*100*
Liberaciones de prod. planeadas					*600*			

Cantidad mínima de orden de compra = 1,000 unidades

Tiempo de entrega de compras = 2 semanas

Inventario de seguridad = 200 unidades que se mantendrán en todo momento

Inventario disponible = 900 unidades

Demanda de partes de servicio = 100 unidades por semana

MECANISMO DE RELOJ R1063

	Semana							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimientos de reloj brutos proyectados	100 0 0 100	100 350 0 450	100 0 0 100	100 0 0 100	100 350 600 1,050	100 0 0 100	100 0 0 100	100 0 0 100
Recepciones programadas				*1,000*	*1,000*			
Cantidad disponible 900	*800*	*350*	*250*	*1,150*	*1,100*	*1,000*	*900*	*800*
Liberaciones de prod. planeadas		*1,000*	*1,000*					

Req. de partes de servicio

ble que los requerimientos de todo producto o componente muestren amplias variaciones como consecuencia de los cambios en los programas de producción, pedidos cancelados de clientes o pronósticos incorrectos. Esto ocasionará estimados imprecisos de los niveles de las existencias de seguridad.

Como una alternativa, se puede mantener un nivel de inventario disponible fijo que se determinará a partir de la experiencia práctica o por algún otro medio. Una vez que la cantidad mínima disponible se establece, se disparan las liberaciones de órdenes de la forma normal PRM, excepto que la cantidad disponible cae a la cantidad mínima en vez de hacerlo hasta cero. Aunque este método es aproximado, con seguridad es lo mejor que puede hacerse considerando la naturaleza de la irregularidad inherente de la demanda derivada.

Incertidumbre de tiempo de entrega en la PRM

Con probabilidad no será posible conocer los tiempos de entrega con precisión. El momento de liberar la solicitud de materiales dependerá de la incertidumbre en el tiempo de entrega, ya que éste afecta por exceso y por déficit de existencias. El tiempo óptimo T^* para liberar la solicitud de materiales con anticipación a los requerimientos es cuestión de balancear el costo esperado asociado con hacer que los materiales lleguen antes de que se necesiten, incurriendo de esta forma en un cargo por mantenimiento, con el costo esperado de hacer que los materiales lleguen después de que se les necesita, incurriendo en esta forma en un cargo de penalización por tardanza. Si se asume que los requerimientos durante un recuadro temporal se cubren a un ritmo constante y que los tiempos de entrega se distribuyen de manera normal, el número esperado de unidades faltantes para cumplir los requerimientos de producción es $s_{TE}E_{(z)}$, donde s_{TE} es la desviación estándar de la distribución del tiempo de entrega y $E_{(z)}$ es la unidad normal de pérdida integral. El número esperado de unidades que llegan con demasiada anticipación será $s_{TE}E_{(-z)}$. Entonces, el costo relevante total será

$$TC = P_c s_{TE} E_{(z)} + C_c s_{TE} E_{(-z)} \qquad \textbf{(10-1)}$$

donde

P_c = costo por unidad de tener los materiales *después* de que se necesiten ($ por unidad por día)
C_c = costo por unidad de tener los materiales *antes* de que se necesiten ($ por unidad por día)

Utilizando el cálculo para obtener el costo mínimo tenemos

$$P = \frac{P_c}{C_c + P_c} \qquad \textbf{(10-2)}$$

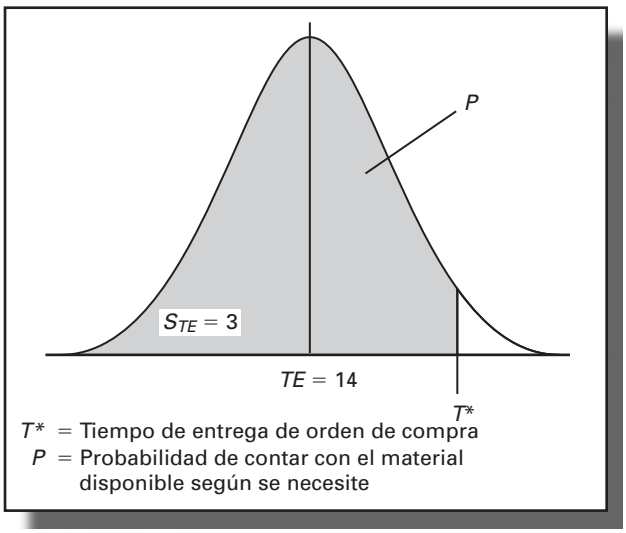
donde P es la probabilidad de contar con los mecanismos de reloj en el tiempo necesario para la producción. Dado P, el número de desviaciones estándar z se obtiene del apéndice A, de tal manera que el tiempo óptimo de liberación T^* será

$$T^* = TE + z(s_{TE}) \qquad \textbf{(10-3)}$$

Ejemplo

Suponga que en el ejemplo de Colonial Clocks el tiempo promedio de entrega de compra para el mecanismo de reloj se encuentra distribuido en forma normal con un promedio de 14 días

Figura 10-8
Distribución del tiempo de entrega con punto de liberación de orden T^*.



y una desviación estándar de tres días. Existe un costo de penalización por retrasar o interrumpir la producción: $500 por unidad por día por cada mecanismo de reloj que no se encuentre disponible cuando se necesite. Si los mecanismos de reloj llegan con anticipación del programa, existe un costo de mantenimiento de $5 por unidad por cada día en que se incurra.

El problema es determinar cuánto tiempo deberá añadirse al tiempo de entrega promedio de compra para protegerse contra la variabilidad del tiempo de entrega. Específicamente, buscamos el tiempo óptimo de liberación de la orden de compra T^* sobre la distribución del tiempo de entrega, como se muestra en la figura 10-8. Esto puede obtenerse después de determinar primero a P. Es decir,

$$P = \frac{P_c}{C_c + P_c} = \frac{500}{5 + 500} = 0.99$$

A partir del área debajo de la curva de distribución normal en el apéndice A, $z_{@P\,=\,0.99} = 2.33$. Por tanto,

$$\begin{aligned} T^* &= TE + z(s_{TE}) \\ &= 14 + 2.33(3) \\ &= 21 \text{ días antes de la producción} \end{aligned}$$

No siempre se conocerán los costos de incurrir en exceso o en déficit de existencias con seguridad. En tal caso, se podría asignar un valor a P y calcular T^* de acuerdo con la ecuación (10-3).

Cantidad de liberación de orden

Aunque las cantidades de pedido de producción-compra pueden establecerse mediante cantidades de pedido mínimo o mediante montos contractuales, también pueden establecerse a través del balance de los costos de pedido contra los costos de manejo de inventario. Este proceso se denomina balance de costos de parte del periodo.

Ejemplo

Suponga que no se ha especificado una cantidad mínima de liberación de pedido para los mecanismos de reloj, como se mostró anteriormente en la figura 10-7. Estos mecanismos de reloj cuestan a Colonial $15 cada uno y el cargo anual por manejo es de 25%, o $0.07 por unidad por semana. Se incurre en un costo de procesamiento de pedidos de $150 cada vez que se levanta un pedido.

Cuando se libera un pedido en la semana 2 para cubrir los requerimientos de la semana 4, la cuestión será si la cantidad de pedido deberá ser tan grande para cubrir los requerimientos de la semana 1 o si la cantidad de pedido deberá ser suficiente para cubrir los requerimientos para varias semanas futuras. Esto puede determinarse al probar varias opciones evidentes, es decir, verificar cantidades de pedido equivalentes a los requerimientos de una semana, a los requerimientos de dos semanas, y así sucesivamente. Suponga que el inventario promedio para la semana es (inventario inicial + inventario final)/2, donde el inventario inicial son las recepciones programadas + la cantidad disponible. El inventario final es el inventario inicial – los requerimientos. Iniciando con los requerimientos R1063 para la semana 4, las estrategias serían ordenar para la semana 4 únicamente; las semanas 4 y 5; las semanas 4, 5 y 6; y así sucesivamente. Dado que se mantendrá un inventario de seguridad de 200 unidades, las cantidades de pedido para cubrir los periodos 4, 5 y 6 serían 50; 50 + 1050 = 1100; y 50 + 1050 + 100 = 1200, respectivamente.

Cuando los costos de manejo equivalgan a los costos de ordenar, se obtendrá la cantidad de pedido óptima. Encontramos los costos de manejo de inventario para cada estrategia.

(Q = 50) semana 4	0.07(300 + 200)/2 = $17.50
(Q = 1,100) semanas 4 & 5	0.07[(1,350 + 1,250)/2 + (1,250 + 200)/2] = **$141.75**
(Q = 1,200) semanas 4, 5 & 6	0.07[1,450 + 1,350)/2 + (1,350 + 300)/2 + (300 + 200)/2] = $173.25

Debido a que los costos de manejo asociados con una cantidad de liberación de pedido de 1,100 son lo más cercano al costo de ordenamiento de $150, esta será la mejor estrategia. Si también estuvieran presentes descuentos de precio o tarifas de transporte fraccionadas en este problema, se justificarían incluso mayores cantidades de liberación, a medida que los costos de manejo adicionales puedan compensarse por estas reducciones de costos.

Programación de la distribución justo a tiempo

Los conceptos implicados en la programación de suministro justo a tiempo también pueden aplicarse al canal de distribución físico. La compresión del tiempo entre el momento en que se levantan los pedidos del cliente y el momento en que éstos son recibidos puede ser una ventaja competitiva. Esta rápida respuesta está basada en muchas de las mismas ideas detrás de la programación justo a tiempo. Es decir, el uso de la información para reducir incertidumbre y sustituir a los activos, particularmente los inventarios. El uso de la transmisión de información electrónica para reducir el tiempo de ciclo de pedido. Usar tecnología de cómputo para agilizar la producción y/o la atención de los pedidos de los clientes. La cuidadosa aplicación de estos conceptos al canal de distribución puede mejorar el servicio al cliente y disminuir los costos.

Manejo integrado de la cadena de suministros

Desde un punto de vista operativo, los métodos de PRM pueden utilizarse dentro del canal de distribución, denominados planeación de requerimientos de distribución (PRD), para permitir la programación integrada del suministro mediante un canal logístico completo de la compañía, desde los proveedores hasta los clientes. Considere cómo se generaliza el canal de suministros en la figura 10-9. No es raro ver la programación de la distribución física manejada en forma independiente de la programación de la producción o del suministro. Los métodos de demanda de manejo de inventarios[5] en los almacenes de campo se muestran popularmente como formas de manejar los niveles de inventario y para recomendar a producción cuándo y cuánto producir. Al aplicar el concepto justo a tiempo expresado como PRD al canal de distribución físico se ofrece una alternativa con muchos beneficios para los métodos más tradicionales de demanda. Estos beneficios son:

- Se crea una base de información similar para el canal completo de producción/logística. Esto estimula la planeación integrada a lo largo del canal.
- Los conceptos PRD son compatibles con los de PRM utilizados en la planta.
- Dado que PRD muestra los envíos futuros planeados, la toma de decisiones se apoya en áreas como planeación de la capacidad de transporte, el despacho de vehículos y el surtido de pedido del almacén. También se observa mayor flexibilidad y mejor habilidad para reaccionar al cambio.
- Al desarrollar un programa, pueden incorporarse todas las fuentes de demanda, no sólo el pronóstico.
- Aunque los sistemas PRO/CEP en general manejan artículos individuales de múltiples almacenes independientes, PRD permite que se manejen en forma colectiva.

Las compañías informan que se han logrado mejoras significativas cuando se efectúa PRD en sus operaciones. Collins y Whybark ofrecen varios ejemplos.[6]

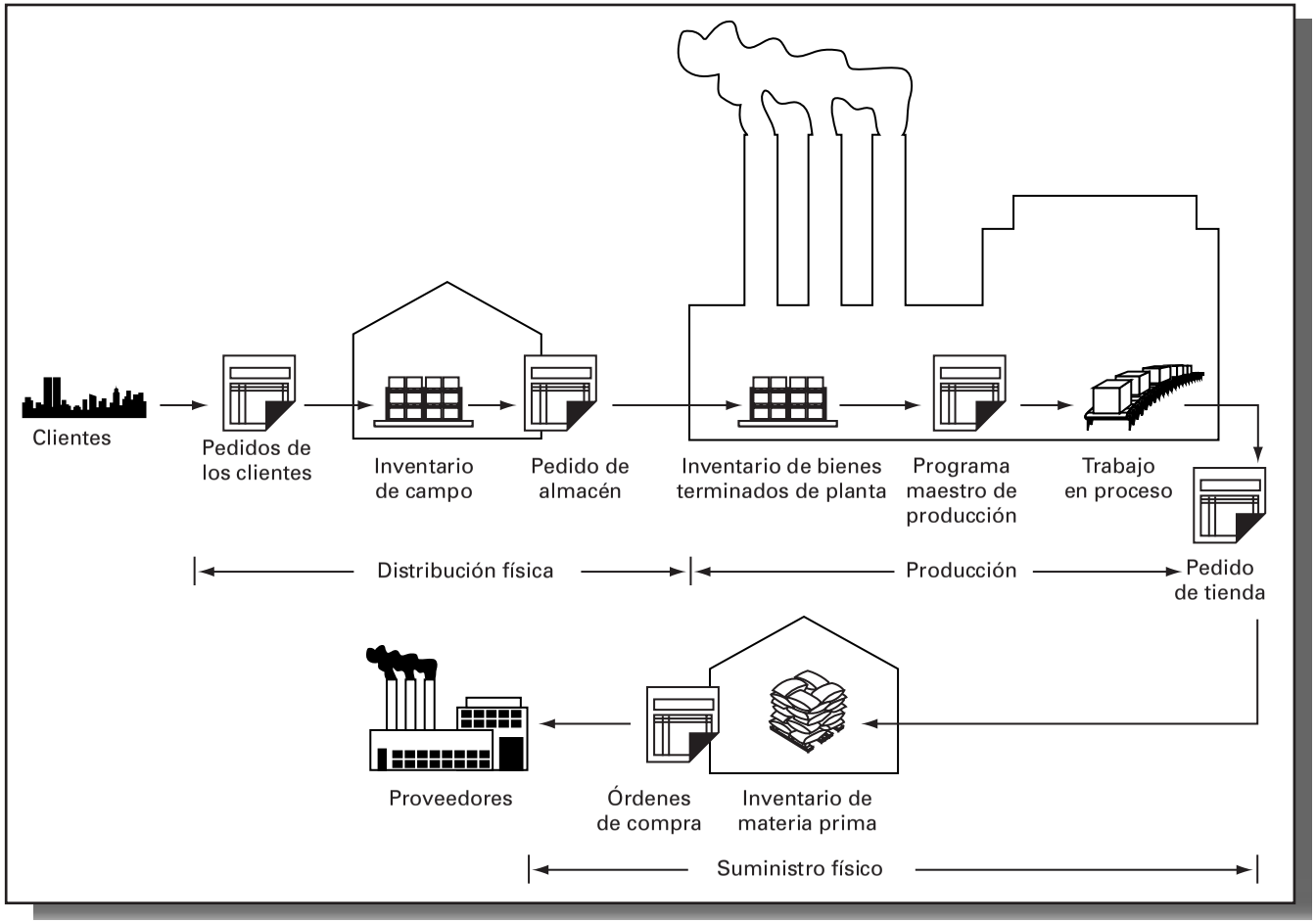
Ejemplos

- Laboratorios Abbott, Canadá, fabrica productos en tres plantas y los reparte en todo Canadá mediante centros de distribución. Su instalación de PRD mejoró los niveles de servicio al cliente de 85 a 97%, en tanto que redujo los inventarios en 25%. Los costos totales de distribución descendieron 15%. Además, se redujo 80% la existencia de productos obsoletos.
- Un proveedor del Medio Oeste, de partes de servicio para equipo agrícola, Hesston, atendió a 1,200 agentes mediante ocho centros de distribución. Los beneficios de PRD se presentaron tanto en términos cualitativos como cuantitativos. Además de una reducción de costos de 20% y de una mejora en los niveles de servicio al cliente de 97.5%, se observó mejoría en la flexibilidad y en la habilidad de reaccionar al cambio. La planeación de requerimientos futuros mejoró, e informó mayor productividad a partir de su análisis de distribución.

[5] Vea el análisis de los métodos de control de inventarios de punto de reorden y revisión periódica en el capítulo 9.

[6] Robert S. Collins, D. Clay Whybark, "Realizing the Potential of Distribution Requirements Planning", *Journal of Business Logistics*, Vol. 6, Núm. 1 (1985), págs. 53-65.

Figura 10-9 Flujo generalizado de información de pedidos de la cadena de suministros de proveedores a clientes.



- Howard Johnson utilizó PRD en la distribución de sus helados para la Costa Este. Informó mejoría de 12% en sus niveles de servicio, y reducción de los inventarios de 25%. Los costos totales de distribución descendieron 10%. El mejor control sobre los inventarios también permitió lograr 80% de reducción de productos obsoletos (control de novedades).

Mecánica del PRD

Planeación de requerimientos de distribución es una extensión de la lógica de PRM que ya se describió. Aquí la atención se enfoca a las diferencias entre ambos. En primer lugar, PRD comienza con un pronóstico de la demanda de artículo lo más cercano posible a la demanda del cliente, la cual asumiremos es la demanda en el almacén de campo. La demanda es para un número de periodos en el futuro y se desarrolla a partir del pronóstico de artículo, pedidos futuros de cliente, promociones planeadas y cualquier otra información relevante para el patrón de demanda. Esta demanda se convertirá en los requerimientos de pronóstico en el PRD (equivalente al programa maestro de producción en PRM). Un ejemplo del registro de PRD básico se muestra en la figura 10-10. Observe la similitud con el registro de PRM presentado en la figura 10-5(a).

Los envíos planeados para un artículo sencillo desde más de un almacén se combinan para generar los requerimientos brutos sobre el inventario central, como el inventario de bienes terminados de planta. Suponga que los inventarios de planta se utilizan para cumplir los envíos planeados de almacén de campo y que producción suministra los inventarios de bienes terminados de planta. Luego se implosionan los envíos planeados de un artículo para todos los almacenes para generar los requerimientos brutos para el inventario de planta. El proceso de implosión se muestra en la figura 10-11. Un vez que se conocen los requerimientos brutos para el inventario central, se desarrolla un registro de planeación de requerimientos para determinar las liberaciones de pedidos planeadas en el nivel de inventario de planta. Estas liberaciones de pedido planeadas se utilizan para generar el programa maestro de producción. El proceso de planeación de requerimientos puede continuar en forma ascendente en el canal de suministros hasta que se alcancen los proveedores, lo que permite una programación completa del canal.

Figura 10-10 Ejemplo de un registro básico PRD para un artículo sencillo en un almacén de campo.

		Periodo							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimientos de pronóstico		100	200	100	150	100	100	200	200
En tránsito			*300*		*300*			*300*	*300*
Cantidad disponible	250	*150*	*250*	*150*	*300*	*200*	*100*	*200*	*300*
Envíos planeados		*300*		*300*			*300*	*300*	

Almacén de seguridad = 50 unidades Cantidad de envío = 300 unidades
Tiempo de entrega = 1 periodo

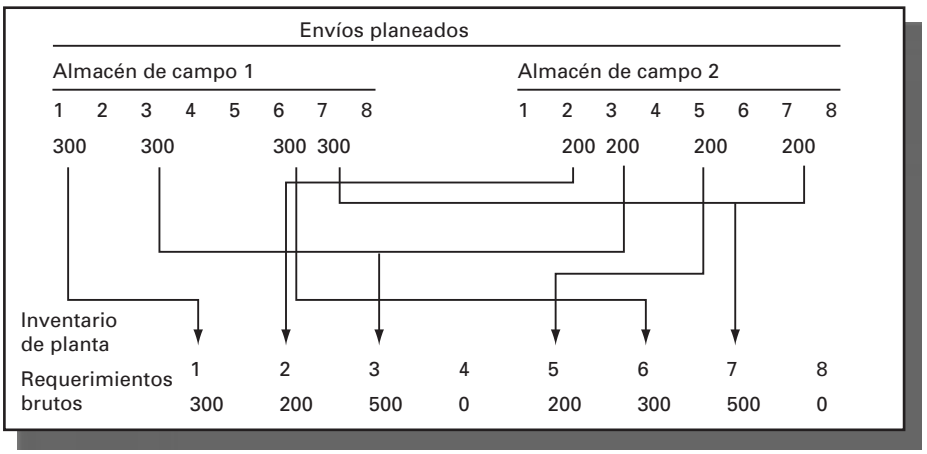


Figura 10-11 Implosión de los envíos planeados de almacén para generar los requerimientos sobre el inventario central.

Compras

El proceso de compras involucra la adquisición de materias primas, suministros y componentes para la organización. Las actividades asociadas con este proceso incluyen lo siguiente:

- Seleccionar y calificar proveedores
- Evaluar el desempeño del proveedor
- Negociar contratos
- Comparar precio, calidad y servicio
- Contratar bienes y servicios
- Programar compras
- Establecer las condiciones de venta
- Evaluar el valor recibido
- Medir la calidad que proviene del exterior, si esto no es responsabilidad de control de calidad
- Predecir el precio, servicio y en ocasiones los cambios de demanda
- Especificar la forma en la que se recibirán los bienes

El proceso de compra afecta de manera indirecta el flujo de bienes dentro del canal de suministros físico, aunque no todas las actividades de adquisición son de interés directo del responsable de la logística. Las decisiones relacionadas con la selección de los puntos de envío del proveedor, la determinación de las cantidades de compra, el momento oportuno del flujo de suministros, y la selección de la forma y los métodos de transportación del producto son algunas de las decisiones importantes que afectan los costos de logística. Por lo contrario, las actividades relacionadas con la negociación de contratos, la evaluación del desempeño del proveedor, el aseguramiento de calidad y el análisis de valor no tienen influencia directa sobre el movimiento y almacenamiento de bienes dentro del canal de suministros. En consecuencia, es justo decir que el proceso de compra no debe ser responsabilidad completa del encargado de la logística. Sin embargo, la interrelación entre las compras y las actividades de movimiento y almacenamiento puede ser sustancial. La discusión aquí se enfoca en aquéllas actividades de compra más relacionadas con los flujos de producto.

Importancia del proceso de compras

El proceso de compras ocupa una posición importante en la mayor parte de las organizaciones, ya que las partes, componentes y suministros adquiridos por lo general representan 40 a 60% del valor de ventas de un producto final. Esto significa que las reducciones de costo relativamente pequeñas obtenidas en la adquisición de materiales pueden tener un gran impacto en las utilidades que mejoras similares en otras áreas de costos-ventas de la organización. Esto se conoce como *principio de apalancamiento*.

Ejemplo

El principio de apalancamiento puede ilustrarse utilizando un simple estado de resultados. El objetivo es duplicar las utilidades. Actualmente, una empresa con ventas brutas de $100 millones y una utilidad de $5 millones gasta 60% de sus ventas en la adquisición de bienes y servicios. Los costos restantes incluyen mano de obra, salarios y gastos administrativos. La pregunta es, ¿qué incremento de ventas, precio, mano de obra y salario, gastos administrativos o compras sería necesario para incrementar las utilidades desde su nivel actual de $5 millones a $10 millones?

La tabla 10-2 muestra el cambio requerido en cada categoría para duplicar las utilidades. En cada columna, excepto por el precio y las compras, el cambio debe ser dramático para poder duplicar las utilidades. Incluso en el caso del precio, la competencia en el mercado puede impedir un incremento. Aunque gran parte del costo de los bienes adquiridos no puede administrarse, con frecuencia procedimientos sencillos como solicitar dos cotizaciones de proveedor sobre cada artículo adquirido, trabajar cerca de los proveedores para controlar los costos, tomar ventaja de los descuentos por cantidad del proveedor o prestar cuidadosa atención a la contratación, las rutas y la selección de modos de transporte pueden llevar a reducciones sustanciales de costo. El porcentaje de reducción no requiere ser grande para obtener reducciones absolutas de costos sustanciales y mejoras en las utilidades.

El efecto de rendimiento sobre los activos también ilustra la importancia del proceso de compras. Además de incrementar utilidades, los menores precios de compra disminuyen la base de activos para la empresa. Esto da por resultado un rendimiento sobre los activos que es desproporcionadamente mayor que el nivel de reducción de precio.

Tabla 10-2 Ilustración del principio de apalancamiento en el proceso de compras para lograr duplicar las utilidades ($000,000)

	Actual	Ventas +17%	Precio +5%	Mano de obra y salarios −50%	Gastos indirectos −20%	Compras −8%
Ventas	$100	$117	$105	$100	$100	$100
Bienes y servicios adquiridos	60	70	60	60	60	55
Mano de obra y salarios	10	12	10	5	10	10
Gastos indirectos	25	25	25	25	20	25
Utilidad	$ 5	$ 10	$ 10	$ 10	$ 10	$10

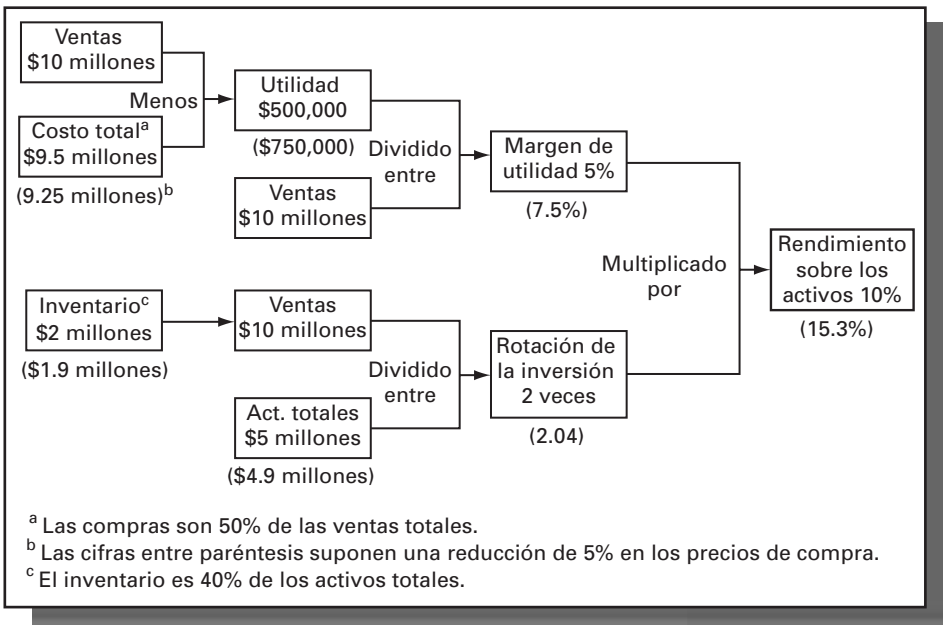


Figura 10-12 Rendimiento sobre los activos antes y después de una reducción de 5% en el precio de compra.

Fuente: Adaptado de Michiel R. Leeders y Harold E. Fearon, *Purchasing and Supply Management,* 11a. ed. (Burr Ridge, IL: Irwin, 1997), pág. 17.

Ejemplo

Suponga que una empresa tiene $10 millones en ventas anuales con gastos totales de $9.5 millones. Los activos son por $5 millones, de los cuales $2 millones son de inventario. El costo de los materiales adquiridos es el 50% de las ventas. Utilizando el modelo estándar de rendimientos sobre los activos, podemos desarrollar la figura 10-2. Compras puede lograr una reducción de precios generalizada de 5%. ¿Qué incremento en el rendimiento sobre los activos es probable que se presente?

Esta modesta reducción de precio puede lograr un incremento de 50% en las utilidades. Esto se debe al efecto de apalancamiento. Por el otro lado, la reducción de precio disminuye la base de activos al valuar el inventario en 95% de su valor anterior. Este incrementa la velocidad de la rotación de activos a 2.04 del 2.00 anterior. El rendimiento sobre los activos se incrementa a 15.3% de su 10% anterior, un incremento de 53 por ciento.

Cuando las compañía como GE, General Motors y United Airlines emprenden iniciativas de ahorro de costos, es común para ellos buscar reducciones de precios de parte de sus proveedores. Al reconocer que los materiales adquiridos promedian más de 50% de sus gastos, los proveedores son el objetivo obvio de las reducciones de costos. Algunas de las estrategias utilizadas pueden resumirse en los siguientes cuatro puntos.

- *Renegociación de contratos*. Enviar a los proveedores cartas solicitando reducciones de precio de 5% o más; volver a licitar los contratos de quienes se nieguen a reducir costos.
- *Ofrecer ayuda*. Enviar equipos de expertos a las plantas de los proveedores para ayudarles a reorganizar y sugerir otros cambios que eleven la productividad; trabajar con los proveedores para hacer las partes más simples y baratas de producir.
- *Mantener la presión*. Para asegurarse que las mejoras continúan, fijar objetivos anuales generalizados de reducción de costos, por lo general de 5% o más por año.
- *Reducir proveedores*. Reducir el número global de proveedores, en ocasiones hasta 80%, y estimular las compras de aquellos que permanecen mejorando sus economías de escala.[7]

Resulta claro que estas compañías entienden el principio de apalancamiento y el efecto del rendimiento sobre los activos.

Las subastas por Internet son otra forma en la que las empresas buscan disminuir los precios de sus bienes y servicios adquiridos. Una ventaja inherente de Internet es que pueden reunirse muchos proveedores en el proceso de compra de forma conveniente y económica. Se logran precios más bajos ya que el mercado se extiende con más vendedores potenciales que ofrecen sus servicios y productos. En otras palabras, se aproxima a un mercado perfecto cuando los precios se llevan a sus niveles más bajos.

Observación

United Technologies necesitaba proveedores que fabricaran tarjetas de circuitos con valor de $24 millones. FreeMarkets, un servicio de subasta B2B en línea, evaluó a 1,000 proveedores potenciales e invitó a 50 especialmente calificados para que subastaran. FreeMarkets planeó tres horas de subasta competitiva en línea. FreeMarkets dividió el trabajo en 12 lotes, cada uno se colocó en una subasta. A las 8 a.m. se inició con el primer lote valuado en $2.25 millones. La primera oferta fue de $2.25 millones, la cual fue observada por todos. Minutos después, otro postor colocó una oferta por $2 millones. Más postores redujeron nuevamente el precio. Minutos antes de que la oferta cerrara sobre el primer lote, a las 8:45 a.m., el postor número 42 colocó una oferta de $1.1 millones. Cuando todo terminó, las ofertas de los 12 lotes totalizaron $18 millones (cerca de 35% de ahorros para United Technologies).[8]

Cuando el responsable de la logística identifica una oportunidad en las actividades de compras para reducir los costos en forma sustancial será en la programación de los flujos de materiales, en la determinación de las cantidades de compra, en la contratación de materiales y en el establecimiento de los términos de venta. Es decir, las preguntas clave serán cuánto y cuándo comprar, dónde comprar (punto de envío) y cuál deberá ser el peso, la forma y el tamaño del material enviado. En cierto grado, estas preguntas se han revisado en los capítulos previos. Los métodos para responderlas serán complementados aquí.

[7] "Cut Costs or Else: Companies Lay Down the Lay to Suppliers", *Business Week*, 22 de marzo de 1993, págs. 28-29.
[8] Jay Heizer, Barry Render, "How E-Commerce Saves Money", *IEE Solutions* (agosto de 2000), págs. 22-27.

Cantidades y momento del pedido

Las cantidades adquiridas así como el momento en que se adquieren afectan a los precios que se pagan, a los costos de transportación y a los costos de manejo de inventario. Una estrategia es comprar sólo para cumplir los requerimientos a medida que éstos se presentan. Esta es la estrategia justo a tiempo, también denominada como compras al día. De forma alternativa, se puede utilizar algún tipo de compra adelantada o anticipada. Esto puede resultar ventajoso cuando se espera que los precios sean mayores en el futuro. Además, se podría participar en la actividad de compra especulativa, en la que los compradores intentan cubrirse de futuros incrementos de precio. Las materias primas, con frecuencia productos como cobre, plata y oro, pueden revenderse obteniendo una utilidad. La compra especulativa difiere de la compra adelantada en la medida en que las cantidades adquiridas pueden exceder cualquier cantidad razonable dictada por los requerimientos futuros.

Las cantidades de compra también pueden verse afectadas por las reducciones especiales de precio que los vendedores ofrecen de vez en cuando. Los compradores quizá deseen "abastecerse" a un buen precio. Por otro lado, los compradores pueden buscar negociar un buen precio, pero no tomar la entrega de los bienes sino hasta que éstos se requieran, evitando de esta forma una acumulación de inventario.

Estrategia mixta de compras

Cuando un artículo estándar tiene un patrón de precio estacional razonablemente predecible, participar en una estrategia mixta de compra al día y compra anticipada puede dar por resultado un menor precio promedio que sólo con las compra al día. La compra anticipada es el acto de adquirir en cantidades que exceden los requerimientos actuales, pero no más allá de los requerimientos futuros previsibles. Resulta una estrategia atractiva cuando se espera que los precios se eleven de manera que las cantidades adicionales se adquieren a menores precios, pero se crea cierto inventario y deberá balancearse contra las ventajas del precio. Por otro lado, la compra al día es ventajosa cuando los precios se encuentran descendiendo, evitando de esta forma adquirir ahora mayores cantidades cuando la compra retrasada puede obtener menores precios. La combinación efectiva de estas dos estrategias cuando los requerimientos son estacionales puede llevar a ventajas sustanciales de precio.

Ejemplo

Suponga que un artículo estándar tiene un patrón de precio estacional, como se muestra en la tabla 10-3. Los requerimientos para el año son 10,000 unidades mensuales constantes. El objetivo es seleccionar la mejor estrategia combinada de compra al día y compra

Tabla 10-3
Patrón de precio estacional para el artículo de ejemplo

Mes	Precio ($/unidad)	Mes	Precio ($/unidad)
Ene.	3.00	Jul.	1.00
Feb.	2.60	Ago.	1.40
Mar.	2.20	Sep.	1.80
Abr.	1.80	Oct.	2.20
May.	1.40	Nov.	2.60
Jun.	1.00	Dic.	3.00

Mes	Compras al día Costo de compras	Compras adel. de 2 meses Costo de compras	Compras adel. de 3 meses Costo de compras	Compras adel. de 6 meses Costo de compras
Ene.	$ 30,000	$ 30,000	$ 30,000	$ 30,000
Feb.	26,000	26,000	26,000	26,000
Mar.	22,000	22,000	22,000	22,000
Abr.	18,000	18,000	18,000	18,000
May.	14,000	14,000	14,000	14,000
Jun.	10,000	10,000	10,000	10,000
Jul.	10,000	20,000[a]	30,000[b]	60,000[c]
Ago.	14,000	—	—	—
Sep.	18,000	36,000	—	—
Oct.	22,000	—	66,000	—
Nov.	26,000	52,000	—	—
Dic.	30,000	—	—	—
Subtotal	$240,000	$228,000	$216,000	$ 180,000
Costo de manejo de inv.	50,000	75,000	100,000	175,000
Total	**$290,000**	**$303,000**	**$316,000**	**$ 355,000**

[a] Se adquieren los requerimientos de dos meses al precio de julio.
[b] Se adquieren los requerimientos de tres meses al precio de julio.
[c] Se adquieren los requerimientos de seis meses al precio de julio.

Tabla 10-4 Estrategia mixta de compras utilizando distintos periodos de tiempo para la compra adelantada cuando los precios se elevan.

anticipada. La tabla 10-4 resume varios periodos de compra anticipada: compras anticipadas de dos meses, tres meses y seis meses. Ya que los precios están descendiendo desde enero hasta junio, sólo una estrategia de compras al día necesita considerarse para este periodo de tiempo. La selección de la mejor estrategia combinada requiere balancear la reducción de costos de adquisición resultante de la compra anticipada de los requerimientos contra los mayores costos de manejo de inventario resultantes de la compra adelantada de los requerimientos. Si el costo de mantener una unidad es de $10 por año, el costo promedio de manejo de inventario de la opción de comprar al día será (10,000/2) $10 = $50,000 por año. Esto supone que un envío de 10,000 unidades arriba al principio del mes y se reduce a 0 para el final del mes. Para la estrategia de compra anticipada de dos meses, el costo de manejo de inventario para el año sería:

$$\underbrace{[(10{,}000/2) \times 6/12}_{\text{Primera mitad}} + \underbrace{(20{,}000/2) \times 6/12]}_{\text{Segunda mitad}} \times \$10 = \$75{,}000/\text{año}$$

El costo de inventario para las estrategias de compra anticipada de tres y de seis meses sería de $100,000 y $175,000 respectivamente. El costo total mínimo es para la estrategia de compras al día a lo largo de todo el año. A medida que se analicen mayores periodos de compra anticipada, el costo de manejar el inventario se incrementa en forma más rápida que los beneficios de no pagar por los incrementos de precio. Sin embargo, si existieran

descuentos de precio o intervalos de tarifas de transportación basados en el tamaño de la compra, la compra anticipada podría ser económica. Esta posibilidad también debe ser considerada.

Promedio monetario

Para que la compra anticipada sea efectiva, se requiere que los patrones estacionales de precio sean razonablemente estables y predecibles. Para lograr el mismo objetivo del precio de compra más bajo que con la compra anticipada, se puede utilizar el promedio monetario. Este método supone que los precios por lo general se elevarán con el tiempo, aunque por otro lado fluctuarán con incertidumbre. Las compras se realizan en intervalos fijos, pero la cantidad a comprar depende del precio en el momento de la compra. Se establece un presupuesto con base en el precio promedio para un periodo razonable en el futuro (al menos un ciclo estacional completo). El precio se divide en la cantidad de presupuesto para determinar la cantidad a comprar. El resultado es que se compran más unidades cuando los precios están bajos que las que se compran cuando están altos si los precios en general se encuentran elevándose. El peligro de esta estrategia es que puedan tener lugar cantidades que no sean lo suficientemente grandes como para cumplir los requerimientos cuando los precios son altos. Podría ser necesaria la protección a través de contar con cierto inventario.

Ejemplo

Se espera que un producto de suministro para oficinas cueste $2.50 por cada unidad durante todo el próximo año. La utilización también se espera que sea a un ritmo de 20,000 unidades por mes, con compras realizadas cada tres meses. Los costos de manejo de inventario son de 25% por año.

El primer paso en el promedio monetario es desarrollar el presupuesto para las compras de tres meses. Puesto de manera simple, esto sería $20{,}000 \times 3 \times 2.50 = \$150{,}000$. Gastaremos esta cantidad en cada compra. Suponga que los precios reales para el siguiente año se presentan como sigue.

Mes	Precio ($/unidad)	Mes	Precio ($/unidad)
Ene.	2.00	Jul.	2.55
Feb.	2.05	Ago.	2.65
Mar.	2.15	Sep.	2.75
Abr.	2.25	Oct.	2.80
May.	2.35	Nov.	2.83
Jun.	2.45	Dic.	2.86

Si sumamos los precios y los dividimos entre 12, el precio promedio real será de $2.47 por unidad. La primera compra de tres meses en enero sería

$$\$150{,}000/\$2.00 \text{ por unidad} = 75{,}000 \text{ unidades}$$

Al continuar este tipo de cálculo para cada periodo de tres meses, tendríamos

Mes	Núm. de unidades	Precio ($/unidad)	Costo total	Inventario promedio
Ene.	75,000	2.00	$150,000	37,500[a] unidades
Abr.	66,667	2.25	150,000	33,334
Jul.	58,824	2.55	150,000	29,412
Oct.	53,571	2.80	150,000	26,786
	254,062		$600,000	31,758[b] unidades

[a] 75,000/2 = 37,500 unidades.

[b] Promedio anual, o (37,500 + 33,334 + 26,786)/4 = 31,758 unidades.

El costo unitario promedio es $600,000/254,062 = $2.36. Comparado con las compras mensuales al día, esto ofrece una reducción de precio de [(2.47-2.36)/2.47] × 100 = 4.45%. El costo total de la compra al día sería de 254,062 × $2.47/unidad = $627,533.

Ahora analizamos los costos de manejo de inventario. El costo de manejo promedio anual para la compra al día mensual es (20,000/2) × 2.47 × 0.25 = $6,175. Y para el promedio monetario es de 31,758 × 2.36 × 0.25 = $18,737.

Al resumir los costos anuales para las dos estrategias, tenemos

Estrategia	Costo de compras	Costo inventario	Costo total
Compra al día mensual	$627,533	+ 6,175	= $633,708
Promedio monetario	$600,000	+ 18,737	= **$618,737**

La estrategia más económica en el mercado de precios a la alza es el promedio monetario (*Observe*: Será necesario mantener un inventario adecuado de manera que la demanda pueda atenderse durante los periodos de compra de pequeñas cantidades.)

Descuentos por cantidad

El agente de compras con frecuencia es alentado para que compre en grandes cantidades. Los proveedores pueden ofrecerle menores precios si se adquieren cantidades mayores, ya que los proveedores se benefician de las economías de escala y transfieren algunos de los beneficios a los compradores mediante incentivos de precio. Hay dos formas populares de incentivos de precio: la incluida y la no incluida. El plan de incentivo de precio de descuento por cantidad incluida es aquel donde se ofrece un menor precio para cantidades de compra progresivamente mayores, que aplica a todas las unidades adquiridas. Es común encontrarlo en muchos artículos de consumo. En contraste, bajo el plan de incentivo de precio de descuento por cantidad no incluida, la reducción de precio aplica sólo para aquellas unidades dentro del intervalo de precio de descuento. La tarifa en exceso de la transportación es un ejemplo. Si las cantidades adquiridas ya son grandes (es decir, mayores que el último intervalo de precio) no necesitará considerarse nada más. Sin embargo, cuando las cantidades de compra son pequeñas, el comprador enfrenta el dilema de pagar un mayor precio para la pequeña cantidad o incrementar la cantidad de compra e incurrir en un costo adicional de manejo de inventario. Analizaremos estas dos políticas de precio.

Plan de incentivo por descuento de precio de cantidad incluida. Un programa simple de descuento de precio por cantidad incluida puede expresarse como

Cantidad, Q_i	Precio, P_i
$0 < Q_i < Q_1$	P_1
$Q_i \geq Q_1$	P_2

donde Q_i es la cantidad adquirida, y P_i es el precio pagado por unidad para todos los rangos de Q_i·P_1 desde 1 hasta menos que Q_1, de otra forma aplica P_2. P_2 es menor que P_1.

Encontrar la cantidad óptima de compra requiere encontrar el menor costo total que consta del costo de compra, costo de pedido y costo de manejo de inventario. Matemáticamente, el costo total es

$$TC_i = P_iD + \frac{DS}{Q_i} + \frac{IC_iQ_i}{2} \qquad \textbf{(10-4)}$$

donde

TC_i = costo relevante total para la cantidad Q_i
P_i = precio por unidad para la cantidad Q_i
D = demanda promedio anual en unidades
S = costo de adquisición en dólares por unidad
Q_i = cantidad a comprar en unidades
I = costo de manejo en porcentaje anual
C_i = costo del artículo en el punto inventariado en dólares por unidad

La curva de costo total para un plan de incentivo de descuento de precio por cantidad incluida se muestra en la figura 10-13. Encontrar la cantidad de compra óptima no es tan

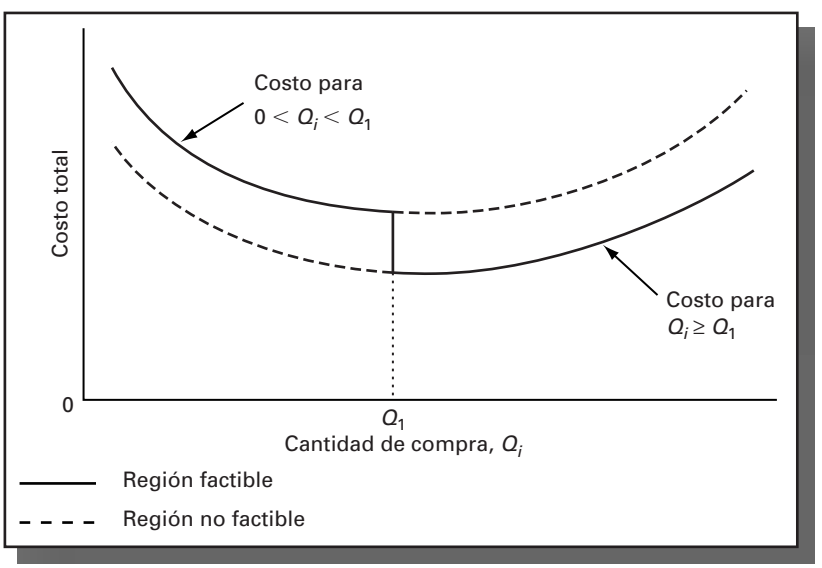


Figura 10-13
Curva de costo total para un plan de incentivo de precio con descuento por cantidad incluida de un intervalo.

simple como bajo un plan de precio sencillo debido al punto de discontinuidad en la curva de costo total. Sin embargo, se puede desarrollar un proceso computacional que requiera un número mínimo de cálculos. Se podría parafrasear como:

- Calcular la cantidad económica de pedido (*CEP*) para cada precio P_i. Encuentre la CEP que esté dentro del rango factible de su curva de costo total. Si la *CEP* factible se encuentra sobre la curva más baja, habrá encontrado la Q óptima. Si no es así, calcule TC_{CEP} y siga con el siguiente paso.
- Establezca Q_i en la cantidad mínima dentro de la cantidad del rango de precio i y calcule TC_i. Compare TC_i y TC_{CEP}.
- Seleccione la cantidad Q_i que represente al costo total mínimo.

Ejemplo

Regularmente se adquiere un artículo con una demanda estimada de 2,600 unidades por año. Los costos de preparación de una orden de compra son de $10 por pedido, y el costo de manejo de inventario es de 20% anual. El proveedor ofrece dos precios: $5 por unidad para cantidades de compra menores a 500 unidades y 5% de descuento que se aplica a todas las unidades cuando se compran cantidades de 500 o más unidades. Los precios incluyen la entrega. ¿Cuál es el tamaño de pedido que deberá levantar el agente de compras?

Primero calculamos las cantidades económicas de pedido para los precios por debajo y por arriba de 500 unidades. Así pues, para P_1,

$$Q_{EOQ1} = \sqrt{\frac{2DS}{IC}} = \sqrt{\frac{2(2600)(10)}{0.20(5)}} = 228 \text{ unidades (factible)}$$

Y el costo total de acuerdo con la ecuación (10-4) será

$$TC_{EOQ1} = 5(2600) + \frac{2600(10)}{228} + \frac{0.20(5)(228)}{2} = \$\ 13,228.04$$

Para $P_{2:}$

$$Q_{EOQ2} = \sqrt{\frac{2(2600)(10)}{0.20(4.75)}} = 234 \text{ unidades (no factible)}$$

Observe que Q_{CEP2} sobre la curva de costos inferior no es factible considerando el precio utilizado en el cálculo. Es decir, el precio de 4.75 no es consistente con la cantidad de pedido de menos de 500 unidades. Q_{CEP2} se elimina de la consideración posterior. Ahora verificamos la cantidad justo en el punto de discontinuidad, Q = 500 unidades.

$$TC_{500} = (5 \times 0.95)(2600) + \frac{2600(10)}{500} + \frac{0.20(5 \times 0.95)(500)}{2} = \$12,639.50$$

Ya que TC_{500} es menor que TC_{CEP1}, deberá ordenarse una cantidad de 500 unidades para minimizar los costos.

Plan de incentivo por descuento de precio de cantidad no incluida. Cuando el plan de incentivo de precio por cantidad es del tipo no incluido, se requiere un procedimiento de solución ligeramente modificado. Más allá de las cantidades de intervalo de precio, el precio unitario promedio continua cayendo, como se muestra en la figura 10-14. Podemos encontrar la cantidad de compra óptima mediante prueba y error.[9] Es decir, el costo total para cantidades de pedido progresivamente mayores se calcula hasta que se encuentra el costo mínimo.

Ejemplo

Utilizando el ejemplo anterior, el descuento de precio de 5% ahora aplicará sólo a las compras *mayores* a las 500 unidades, es decir, hasta $Q_{i>500}$. Para encontrar la cantidad de pedido óptima, seleccionamos en forma prudente Q_s para ser evaluada. Iniciemos con una $Q = 300$ y en incrementos añadimos esta cantidad hasta que los costos totales dejen de descender y comiencen a crecer. Utilizamos la ecuación (10-4) para nuestros cálculos, donde el precio promedio P_i se obtiene a partir de una o dos fórmulas. Si Q_i es menor o igual que 500 unidades, $P_i = P_1$; de otra forma, $P_i = [500 \times P_1 + (Q_i/500) \times P_2]/Q_i$. Los cálculos pueden resumirse de la siguiente forma:

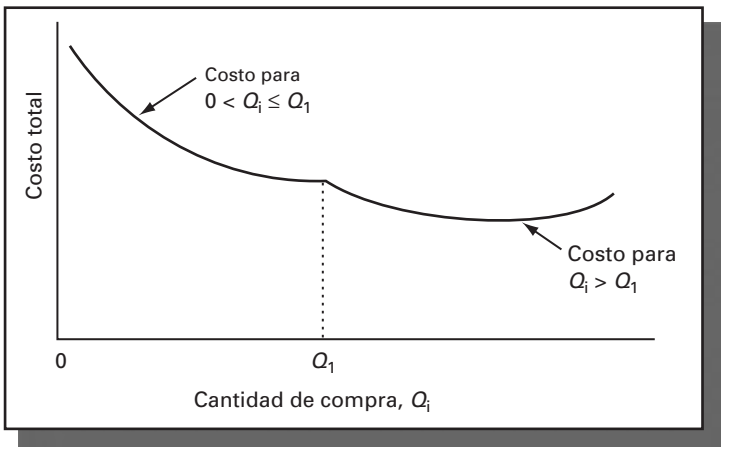
Q_i	Precio unid. prom., P_i	$P_i \times D$	$+D \times S/Q_i$	$+I \times C_i \times Q_i/2$	= Costo
300	5	$13,000.00	$86.67	$150.00[a]	$13,237
400	5	13,000.00	65.00	200.00	13,265
500	5	13,000.00	52.00	250.00	13,302
600	$\frac{500(5) + 100(4.75)}{600} = 4.96$	12,896.00	43.33	297.60	13,237
800	$\frac{500(5) + 300(4.75)}{800} = 4.91$	12,766.00	32.50	392.80	13,191
900	$\frac{500(5) + 400(4.75)}{900} = 4.89$	12,714.00	28.89	440.10	**13,183** ←
1000	$\frac{500(5) + 500(4.75)}{1000} = 4.88$	12,688.00	26.00	488.00	13,202
1100	$\frac{500(5) + 600(4.75)}{1100} = 4.86$	12,636.00	23.64	534.60	13,194

[a] $P_i = C_i$

Dentro de los incrementos de 100 unidades que se probaron, la cantidad de orden de compra óptima con el menor costo total anual es 900 unidades.

[9] Para un método exacto del problema de descuentos de precio no incluido, vea Richard J. Tersine, *Principles of Inventory and Materials Management*, 4a. ed. (Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1994), págs. 110-113.

Figura 10-14
Curva de costos totales, para un incentivo de precio de descuento por cantidad, no incluido y de un solo intervalo.



Compra por trato específico. Es muy común que los proveedores ofrezcan ocasionales descuentos de precio con el propósito de promover su negocio o de despejar su exceso de inventario. El agente de compras del comprador enfrenta la cuestión de cuánto comprar si el descuento parece atractivo. El agente de compras quizá ya se encuentre comprando al proveedor y quizá ya haya optimizado las cantidades de compra bajo el precio existente. Por un tiempo, tales compras crearán niveles de inventario por arriba de lo normal. Esto puede resultar aceptable si la reducción de precio compensa los mayores costos de manejo. La cantidad del pedido especial puede obtenerse a partir de

$$\hat{Q} = \frac{dD}{(p - d)I} + \frac{pQ^*}{p - d} \qquad \textbf{(10-5)}$$

donde

d = disminución de precio unitario, dólares/unidad
p = precio por unidad antes del descuento, dólares/unidad
S = costo de pedido, dólares/pedido
I = costo de manejo anual, porcentaje/año
D = demanda anual, unidades
Q^* = cantidad de pedido óptima antes del descuento, unidades
$\hat{Q}$ = tamaño del pedido especial, unidades

La oferta es un evento de una sola vez, se espera que la demanda del producto permanezca sin variación, y una vez que la oferta termine, el patrón de pedido regresa a su cantidad y frecuencia de compra original.

Ejemplo

Farmacias Jaymore vende una línea de cafeteras en su cadena de farmacias. El proveedor de las cafeteras normalmente vende el producto por un precio ya entregado de $72 por unidad. Las tiendas de Jaymore por lo general venden 4,000 unidades por año. El agente de compras observa que los costos de manejo son de 25%/año y que el costo de preparar órdenes de compra es de $50 por pedido.

El proveedor ofrece un descuento único de $5 sobre el precio regular para reducir su inventario de fábrica. Jaymore cree que las cafeteras continuarán vendiéndose al ritmo de ventas normal y que cualquier inventario creado como consecuencia de una cantidad de compra mayor que la normal, será agotado. ¿Qué tan grande deberá levantarse el pedido con el proveedor?

El tamaño del pedido típico puede determinarse resolviendo para la cantidad económica de pedido. Es decir,

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{IC}} = \sqrt{\frac{2(4,000)(50)}{0.25(72)}} = 149 \text{ unidades}$$

Ahora, el tamaño de pedido especial se obtiene de la ecuación (10-5), o

$$\hat{Q} = \frac{dD}{(p-d)I} + \frac{pQ^*}{p-d} = \frac{5(4000)}{(72-5)0.25} + \frac{72(149)}{(72-5)} = 1,354 \text{ unidades}$$

En vez de mantener una cantidad de pedido por $Q^*/D = (149/4{,}000) = 0.037$ años, o dos semanas, las unidades provenientes de la orden especial estarán en inventario por $\hat{Q} = (1,354/4,000) =$ 0.339 años o 18 semanas.

Compra por contrato. Un comprador quisiera negociar el mejor precio posible pero no tomar toda la cantidad de entrega en una sola ocasión. Por tanto, el comprador ofrece comprar una cantidad de unidades dada o una cantidad monetaria en el tiempo. Este contrato puede ser para un artículo específico o para una variedad de artículos cubiertos bajo un contrato general. Por ejemplo, suponga que un comprador acordó comprar $500,000 en bienes, de un proveedor particular para el año siguiente. Las cantidades de artículos individuales no se conocen en el momento del contrato, sólo la cantidad monetaria se "garantiza".[10] A medida que la necesidad se desarrolla durante el año, el comprador llama al vendedor para que envíe los artículos solicitados en las cantidades deseadas. La cantidad monetaria de compra de los artículos individuales dentro del contrato puede variar considerablemente. Para el comprador, esto representa una *compra sin inventario*, aun cuando el comprador tiene la ventaja de compra de volumen y su beneficio de precio asociado. Resulta atractivo donde la filosofía de suministro justo a tiempo guía las operaciones y los inventarios deben minimizarse. Para el vendedor, se pueden esperar operaciones más eficientes resultado de una mejor planeación debida a la certeza de las compras de sus clientes.

Fuente de suministro

Fuente de suministro fija

Otra decisión importante es seleccionar los puntos de envío desde donde deberán suministrarse los materiales adquiridos, cuando la política requiere que el comprador realice esto. La determinación de estos puntos de origen o suministro puede depender de la disponibilidad de inventario, del desempeño y costo de los servicios de transportación utili-

[10] La cantidad monetaria garantizada con frecuencia cuenta con cierta flexibilidad, como un ±10 por ciento.

zados y del nivel de precio y política de precios utilizada. Por ejemplo, si la política de precios es una de entrega o prepagada, la selección de transporte no será un problema. Si sólo existe un punto de envío posible para atender un punto de destino, la decisión será directa. Sin embargo, cuando existen múltiples puntos de origen y destino con restricciones sobre la cantidad que puede enviarse desde cada origen, el problema de decisión es más complejo. Una forma de tratar tal problema es utilizar programación lineal.

Ejemplo

La compañía Regal recibió cotizaciones de proveedores para un componente que es parte de un mecanismo mayor. Los precios, cotizados libre a bordo (l.a.b.), en el punto de envío del proveedor, son los siguientes:

Proveedor	Ubicación del envío	Precio l.a.b.
Philadelphia Tool	Filadelfia	$100 c/u
Houston Tool & Die	Houston	101
Chicago-Argo	St. Louis	99
L.A. Tool Works	Los Ángeles	96

Regal tiene tres plantas que serán suministradas: Cleveland, Atlanta y Kansas City. Las tarifas de transportación (en $/cwt.) y los requerimientos de planta para enero son

Punto del envío	Cleveland	Atlanta	Kansas City
Filadelfia	$2/cwt.	$3/cwt.	$5/cwt.
Houston	6	4	3
St. Louis	3	3	1
Los Ángeles	8	9	7
Requerimientos	**4,000 unidades**	**2,000 unidades**	**7,000 unidades**

Los Ángeles puede suministrar una cantidad limitada, de la misma forma que Houston. Sin embargo, Filadelfia puede suministrar hasta 5,000 unidades y St. Louis puede suministrar hasta 4,000 unidades. Cada unidad pesa 100 libras.

La política del departamento de compras es adquirir del proveedor que ofrezca el precio más bajo. ¿Cuál es el plan de suministro óptimo, y cuánto ahorraría Regal?

Este tipo de problema puede manejarse utilizando el método de transportación de la programación lineal. La matriz de solución para este problema se muestra en la figura 10-15. Observe que el valor del costo de la celda (el costo de enviar una sola unidad entre dos puntos) incluye el precio l.a.b. en el punto de origen así como los costos de envío por unidad. El suministro disponible desde Houston y Los Ángeles se ha establecido arbitrariamente en valores altos para representar un suministro sin restricción. Se añadió una columna ficticia como un punto de destino para absorber el suministro de exceso sobre los requerimientos. Todos los costos de celda igual a cero se utilizan en la columna ficticia, aunque cualquier valor funcionará.

Figura 10-15
Patrón de suministro óptimo para la compañía Regal.

Puntos de sum.	Cleveland	Atlanta	Kansas	Nulo	Sum.
Filadelfia	102 **4,000**	103 **1,000**	105	0	5,000
Houston	107	105	104	0 **15,000**	15,000
St. Louis	102	102	100 **4,000**	0	4,000
Los Ángeles	104	105 **1,000**	103 **3,000**	0 **11,000**	15,000
Requerimientos	4,000	2,000	7,000	26,000	39,000

Para la política de la compañía de comprar de la fuente más barata, todas las compras se harían desde la procedencia de Los Ángeles con un costo total ya entregado de

Desde Los Ángeles		
A Cleveland	\$104/unidad × 4,000 unidades =	\$ 416,000
A Atlanta	105/unidad × 2,000 unidades =	210,000
A Kansas City	103/unidad × 7,000 unidades =	721,000
	Costo total ya entregado	\$ 1,347,000

Una vez revisado, el plan de origen óptimo (existe otro igualmente adecuado) se muestra en la figura 10-15. Este plan puede resumirse de la siguiente forma:

De Filadelfia a Cleveland	\$102/unidad × 4,000 unidades =	\$ 408,000
De Filadelfia a Atlanta	103/unidad × 1,000 unidades =	103,000
De St. Louis a Kansas City	100/unidad × 4,000 unidades =	400,000
De Los Ángeles a Atlanta	105/unidad × 1,000 unidades =	105,000
De Los Ángeles a Kansas City	103/unidad × 3,000 unidades =	309,000
	Total	**$1,325,000**

En este caso, Regal podría ahorrar \$22,000 en el mes de enero mediante el uso de múltiples fuentes como se indica. También deberá observarse de la figura 10-15 que tanto Filadelfia como San Louis se proveen al límite de su suministro disponible. Regal debe negociar para un mayor suministro de estas fuentes para reducir aún más los costos. Houston no parece ser un punto de suministro particularmente atractivo dado que no se utiliza. Quizá Regal podría presentar esta información a Houston Tool & Die y analizar una reducción de precio de cerca de \$1 o \$2 por unidad. Esto permitiría a Houston competir por los requerimientos de Atlanta y Kansas City, lo cual sería deseable si Houston es un proveedor preferido por motivos distintos al precio.

Origen flexible

No siempre resulta práctico asignar específicamente requerimientos de destino a fuentes particulares. El cambio de los requerimientos durante periodos largos de tiempo de entrega puede llevar a un acuerdo de origen flexible. Un fabricante de productos de vidrio utilizó este método para mantener a los hornos de vidrio operando cuando una capacidad limitada de almacenamiento de materia prima estaba disponible en las ubicaciones de la planta. Contra una cantidad anual de compra, se solicitó que múltiples proveedores enviaran materiales según lo programado por producción. Una vez en ruta, los programas de producción podían cambiarse ya sea debido a la mezcla de producto, y por tanto las materias primas necesarias, o por cambios en el volumen que se produciría. Gracias a esto, era una práctica común desviar envíos de vagones en tránsito a plantas distintas que las originalmente programadas. Este método hacia coincidir mejor la oferta con los requerimientos mientras que evitaba una acumulación de faltantes de materiales en las plantas. La desventaja es que se incurrían en mayores costos generales de transportación debido a que una planta no siempre estaba vinculada con una fuente específica.

Términos de venta y manejo del canal

Cuando pensamos en los términos de venta, siempre es con consideraciones financieras y de precio en mente. Sin embargo, la especificación en los términos de venta de la forma en que los bienes serán suministrados y los métodos por los cuales serán manejados puede ser muy importante para el desplazamiento del producto y la eficiencia de almacenamiento dentro del canal de suministros. Ya que los proveedores cuentan con sus propios sistemas logísticos, no existe garantía de que estos sistemas serán compatibles con los de la empresa que compra. Es posible que los tamaños de empaque, métodos de transporte y procedimientos de manejo no coincidan, ocasionando tiempo y esfuerzo adicional para obligar la compatibilidad. Cuando sea posible, el departamento de compra deberá especificar la forma en que los envíos deben ajustarse a un patrón deseado. Si tales patrones no pueden lograrse mediante acuerdos contractuales, entonces deberán emprenderse esfuerzos cooperativos con los proveedores para estimular la compatibilidad de sistemas deseada.

Observación

Constellation Supers, Inc., era una cadena de supermercados en el área de Minneapolis. National Home Food Products era su proveedor más grande, con un centro de distribución localizado justo a 7 millas de las instalaciones de Constellation's Edina. Sin embargo, National desempacaba los pedidos de Constellation de tarimas de 40 por 48 pulgadas y las enviaba a Constellation utilizando ferrocarril. Constellation luego volvía a acomodar los artículos en tarimas de 32 por 40 pulgadas con objeto de hacerlas coincidir con su sistema de manejo y almacenamiento. Ya que las compras de Constellation significaban menos de 1% de las ventas totales de National, éste se rehusaba a incurrir en un cargo por las tarimas de 32 por 40 pulgadas. Sin incurrir en el costo de reajustar el almacén de Edina para dar cabida a las tarimas de 40 por 48 pulgadas, Constellation parecía impotente de superar las ineficiencias del manejo extra. ¿Qué sugerencias podría usted hacer para corregir esta incompatibilidad del canal de suministros?

Comentarios finales

La compra y la programación implican decisiones que pueden sustancialmente afectar el desplazamiento y almacenamiento eficientes de bienes dentro del canal de suministros. La programación asegura que los bienes arriban al punto indicado en el tiempo y en las cantidades necesarias. Utilizar los métodos de control de inventarios es un método para asegurar la disponibilidad de los bienes. Los procedimientos de programación justo a tiempo se han vuelto populares. Específicamente, tanto el sistema KANBAN de Toyota como el sistema de planeación de requerimientos de materiales (PRM) se utilizan con frecuencia en los Estados Unidos. Se presentaron los procedimientos básicos para desarrollar un programa PRM en este capítulo. Como una ampliación de PRM, también se analizó la planeación de requerimientos de distribución. La combinación de PRM y PRD permite una programación integrada de la cadena entera de suministro desde los proveedores hasta los clientes.

El proceso de compras es una actividad principalmente de adquisición. Esta importante actividad significa 40 a 60% de las ventas monetarias. Muchas de las decisiones que involucran al proceso de compras tienen un impacto sobre la eficiencia con la que las actividades dentro del canal de suministros pueden realizarse. En este capítulo, se analizaron muchas decisiones de compra clave y se recomendaron métodos para manejarlas. Las decisiones de compra clave incluyeron la determinación de las cantidades de compra, el momento de la compra y el origen de los envíos.

En este capítulo se demostró la fuerte relación entre la programación de la producción, el proceso de compras y la logística. La integración de éstas es la esencia de la administración de la cadena de suministros. El objetivo es lograr una máxima eficiencia y efectividad del flujo de productos mediante la cuidadosa administración de las actividades de funcionalidad recíproca.

Preguntas

1. ¿Cuál es la diferencia de la programación justo a tiempo de la filosofía de programación de suministro para inventario? ¿A qué se debe que la programación JAT puede eliminar la necesidad de inventarios dentro del canal de suministros?
2. ¿Por qué el justo a tiempo es una filosofía y no una técnica?
3. ¿Cuál es la diferencia entre los métodos para determinar la cantidad óptima de compra bajo planes de precio de descuento por cantidad incluida y no incluida?
4. ¿Cuáles son las similitudes y diferencias entre PRM y PRD?
5. ¿En qué es diferente KANBAN del método PRM para la programación JAT?
6. Considerando las múltiples partes, componentes y suministros que una empresa necesitaría para suministrar una operación de producción o servicio, ¿qué características deberían tener estos artículos para ser programados por planeación de requerimientos contra ser almacenados en inventarios de suministro?
7. ¿Cuáles son las características de la programación de suministro JAT, y por qué son importantes para la efectividad de este método de programación?
8. ¿Cuál es el principio de apalancamiento en el proceso de compras? ¿Cuál es el efecto del rendimiento sobre los activos?
9. ¿Bajo cuáles circunstancias es la compra anticipada una práctica adecuada? ¿Cuándo es el promedio monetario una buena práctica de compra?
10. ¿Cómo afecta la compatibilidad en la forma de los bienes y los métodos de desplazamiento entre el proveedor y el comprador a la eficiencia de la logística? ¿Cómo podría el área de compras contribuir a una mejor eficiencia en el canal?
11. ¿Cuál es el futuro de las subastas de productos y servicios en Internet?

PROBLEMAS

Algunos de los problemas y el caso de estudio en este capítulo pueden resolverse completamente o de forma parcial con la ayuda de software de computadora. Los paquetes de software en LOGWARE que son más importantes en este capítulo son TRANLP (*T*) e INPOL (*I*). El icono de CD

aparecerá con la designación del paquete de software cuando el análisis del problema se apoye en el uso de algo de estos programas de software. Se puede preparar una base de datos para el problema si se requiere amplia información. Cuando el problema pueda resolverse sin el apoyo de la computadora (a mano), se mostrará el icono de la mano . Si no aparece ningún ícono, se suponen cálculos manuales.

1. Un fabricante de mobiliario vende una línea de escritorios con el mismo diseño general. Los escritorios se construyen con hojas de madera contrachapada y el plan de compras para esta madera se determina para las siguientes siete semanas. Los escritorios se ofrecen en tres estilos, cada uno con modificaciones menores en el diseño del cajón. Los pronósticos de marketing para los tres estilos se proporcionan a continuación:

	PRONÓSTICOS SEMANALES DE DEMANDA (EN UNIDADES)							
Escritorio	1	2	3	4	5	6	7	8
Estilo A	150	150	200	200	150	200	200	150
Estilo B	60	60	60	80	80	100	80	60
Estilo C	100	120	100	80	80	60	60	40

Toma una semana producir los escritorios, con una cantidad de producción de 300 para el estilo *A* y 100 de cada uno de los estilos *B* y *C*. Actualmente se tienen disponibles 80 escritorios del estilo *B* y 200 del estilo *C*. Los planes de producción actuales harán disponibles 200 escritorios estilo *A* en la semana 1, sin que actualmente se cuente con alguno de ellos. No existe producción actualmente programada para los escritorios estilo *B* y *C*. Todas las otras partes para los escritorios están fácilmente disponibles y no ocasionan retraso en la producción de los escritorios terminados.

Para las hojas de madera contrachapada (tres hojas = 1 escritorio) se tienen 2,400 hojas disponibles y se recibirán 600 más en la semana 2. Una vez que la orden se levanta, toma, en promedio, dos semanas para obtener un pedido de esta madera. Los pedidos mínimos son para 1,000 hojas con un inventario de seguridad de 200 hojas disponibles en todo momento.

   a. Desarrolle un programa para especificar el tiempo de la liberación de las órdenes de compra de las hojas de madera durante las próximas siete semanas.
   b. Suponga que los costos por retrasar la producción son de $5 por día por cada hoja de madera que no llegue a tiempo para cumplir las necesidades de producción. De igual forma, el costo por manejar la madera que llega con anticipación de las necesidades es de $0.10 por hoja por día. El tiempo de ciclo de pedido promedio sobre las órdenes de compra es de dos semanas (14 días) con una desviación estándar de 2 días. Estos tiempos de entrega se distribuyen de forma normal. ¿Cómo debería ajustarse el tiempo de liberación de órdenes de compra para compensar por esta incertidumbre?

2. Un cierto artículo está programado utilizando planeación de requerimientos de producción con las liberaciones de las órdenes de compra por periodos de tiempo. En la tabla 10-5 se

		Semanas							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimientos brutos proyectados		100	450	100	300	850	100	100	100
Recepciones programadas					?				
Cantidad disponible	900	800	350	250					
Liberación de órdenes de compra planeadas									

Tabla 10-5 Programa de planeación de requerimientos de materiales en unidades

muestra un programa. El gerente de materiales cree que este programa puede no ser el más económico desde el punto de vista del suministro. Se obtuvo la siguiente información adicional:

Costo de manejo = 20% por año
Año = 265 días
Costo del tiempo muerto de producción = $150 por día por unidad
Precio de artículo = $35 por unidad
Costo de preparación de la orden de compra = $50 por orden

Los tiempos de entrega se distribuyen de manera normal con un promedio de 14 días y unas desviación estándar de cuatro días.

a. ¿Cuánto tiempo debería permitirse con anticipación de las recepciones programadas para la liberación de pedidos?
b. En el periodo 4, se necesita una recepción programada para mantener un nivel de seguridad mínimo de 200 unidades. Si no existen mínimos sobre la cantidad de compra (liberación de pedido) ¿cuál es el tamaño de liberación de pedido más económico?

3. El canal de distribución físico de un gran fabricante de alimentos consiste de inventarios de planta desde los cuales se reabastecen los almacenes regionales. Estos almacenes regionales a su vez suministran a los almacenes de campo asignados a ellos. Existe una planta que atiende a dos almacenes regionales que, a su vez, atienden a tres almacenes de campo cada uno. Los almacenes de campo tienen los siguientes pronósticos de demanda semanal para un artículo particular y el siguiente inventario disponible:

Almacén regional	Inventario disponible (cajas)	Almacén de campo	Inventario disponible (cajas)	Demanda semanal pronost. (cajas)
1		1	1,700	1,200
1 →	52,300	2	3,300	2,300
1		3	3,400	2,700
2		4	5,700	4,100
2 →	31,700	5	2,300	1,700
2		6	1,200	900

El almacén regional suministrará a sus almacenes asignados únicamente cuando la cantidad de pedido acumulada en cada almacén sea igual o exceda a 7,500 cajas, y luego en in-

crementos de 7,500 cajas. Las 7,500 cajas son equivalentes a un envío de un camión de carga. A su vez, la planta suministrará a los almacenes regionales en incrementos de 15,000 cajas, lo cual representa un envío de vagón de tren. El tiempo de entrega para el suministro de los almacenes de campo es una semana. El tiempo de entrega son dos semanas para suministrar a los almacenes regionales. La producción tiene un tiempo de entrega de tres semanas para los materiales en lotes de 20,000 cajas. No existen envíos en trámite hacia los almacenes de campo; sin embargo, un envío anterior programado de 15,000 cajas está previsto para arribar al almacén regional 2 en la segunda semana.

Durante las próximas diez semanas, planee el flujo de materiales a través de la red, estime el inventario promedio en el sistema y proyecte cuál debería ser el programa de producción.

4. Una empresa con ventas de $55 millones invierte el 50 por ciento de sus ventas en el costo de los bienes vendidos. Los gastos generales absorben $8 millones. La mano de obra y los sueldos son $15 millones. De esta forma, se obtiene una utilidad de $4.5 millones. Los activos son de $20 millones, de los cuales el 20 por ciento son inventarios.
   a. Si la empresa puede: 1) incrementar el volumen de ventas, 2) elevar el precio, 3) reducir la mano de obra y los salarios, 4) disminuir los gastos generales o 5) reducir el costo de los bienes vendidos, ¿qué cambio (porcentual) en cada categoría se necesitaría para incrementar las utilidades en $5 millones?
   b. Si los precios de los materiales adquiridos (es decir, costo de los bienes vendidos) puede reducirse en 7%, ¿qué rendimiento sobre los activos puede lograrse?; ¿cómo se compara esto con el rendimiento sobre los activos actuales?
5. Una empresa adquiere un material que muestra estacionalidad clara de precio a lo largo del año con fluctuaciones relativamente menores dentro de cada mes. Los requerimientos para el material son constantes durante el año en 50,000 unidades por mes. Los precios durante el año se proyectan de la siguiente forma:

Mes	Precio ($/unidad)	Mes	Precio ($/unidad)
Ene.	4.00	Jul.	6.00
Feb.	4.30	Ago.	5.60
Mar.	4.70	Sep.	5.40
Abr.	5.00	Oct.	5.00
May.	5.25	Nov.	4.50
Jun.	5.75	Dic.	4.25

Los costos de manejo de inventario son de 30% por año. La estrategia actual es comprar directamente sobre los requerimientos al precio corriente.

   a. ¿Una estrategia mixta de compra al día y compra adelantada disminuirá los costos? ¿Cuál es la mejor mezcla de estrategia?
   b. Si una estrategia mixta es mejor, ¿que inquietudes podrían surgir al utilizarla?
6. Un fabricante de imanes adquiere cobre en el mercado abierto en intervalos mensuales durante el año. El mejor estimado del precio promedio para el siguiente año es $1.10 por libra. Se requiere una cantidad fija de 25,000 libras por mes para cumplir con los requerimientos esperados para un horizonte de planeación de cuatro meses. El costo de manejo de inventario es de 20% por año.

a. Desarrolle un presupuesto de promedio monetario para las compras futuras.
b. Suponga, que en el momento de las compras, los precios reales por libra para los siguientes cuatro meses resultaran ser $1.32, $1.05, $1.10 y $0.95 respectivamente. Si se utiliza el promedio monetario, ¿qué cantidades deberían comprarse en cada mes? ¿existe alguna ventaja por encima de la estrategia de compra al día?

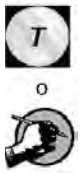
7. Una clínica médica grande utiliza 500 cajas de pulidor para pisos por año. Las compras se realizan a un costo de pedido de $15 por pedido. El costo de manejo de inventario es de 20 por ciento por año. El programa de precios, el cual incluye el costo de transportación, muestra que los pedidos menores que 50 cajas costarán $49.95 por caja; entre 50 y 79 cajas costarán $44.95 por caja; y para 80 cajas o más costarán $39.95 por caja. Los precios aplican inclusivamente a todas las unidades compradas. ¿Cuál es el tamaño de orden de compra óptimo que deberá levantarse, y cual es el costo total?
8. Una compañía eléctrica de la Costa Este de Estados Unidos adquiere motores de un proveedor de la Costa Oeste para utilizarlos en equipo de bombeo. La producción requiere 1,400 motores por año. Los costos de abastecimiento, que incluyen costos administrativos y auxiliares, son de $75 por pedido. El costo de manejo de inventario es de 25% por año. El proveedor proporcionó el siguiente programa de precios:

Unidades por pedido	Precio unitario[a]
Primeros 200	$795
Siguientes 200	750
Por encima 400	725

[a] Incluye transportación

Dado el programa de precios no incluido, ¿cuál será la cantidad de compra óptima (a las 50 unidades más cercanas), y cuál será el costo total anual?

9. El grupo de compras centrales de Ortega Foods adquiere harina de maíz para las cuatro plantas de la compañía que producen tortillas para tacos. Están disponibles tres puntos de origen, pero los acuerdos contractuales limitan el suministro de algunas de estas fuentes. La harina de maíz se envía en bolsas de 100 lbs. En la tabla 10-6 de muestra información sobre los requerimientos de plana, disponibilidad de suministro y precios l.a.b. para una semana típica. Las tarifas de transportación (en $/cwt., $/quintal) entre las distintas fuentes y plantas son las siguientes:



	Plantas			
Fuentes	Cincinnati	Dallas	Los Ángeles	Baltimore
Minneapolis	0.15	0.19	0.24	0.21
Kansas City	0.10	0.08	0.20	0.18
Dayton	0.05	0.12	0.27	0.15

El grupo de compras actualmente suministra a las plantas de Cincinnati y Baltimore desde Dayton. Dallas es atendida por Kansas City, y Los Ángeles es atendido por Minneapolis.
a. ¿Qué plan de origen sería mejor para Ortega?, y ¿cuánto le ahorraría?
b. ¿Existe alguna acción que el grupo de compras pudiera emprender para reducir más los costos?

Tabla 10-6
Información de la oferta y la demanda para el problema de alimentos Ortega

Fuente	Disponibilidad de suministro (cwt.)	Precio ($/cwt.)
Minneapolis	1,200	$3.25
Kansas City	4,800	3.45
Dayton	Ilimitado	3.40

Planta	Requerimientos (cwt.)
Cincinnati	5,000
Dallas	2,500
Los Ángeles	1,200
Baltimore	1,000

c. ¿Ortega está contratando demasiados proveedores? ¿Por qué? *(Tip:* Utilice el método de transportación de la programación lineal para ayudarle a resolver este problema.)

10. A-Mart vende televisores de pantalla pequeña en sus múltiples establecimientos al detalle. Se proyecta que las ventas totales típicas para todas sus tiendas serán 120,000 unidades. El proveedor en Corea del Sur normalmente vende los aparatos por $100 USD; sin embargo, el proveedor ofrecerá un descuento de $5 si el comprador realiza una compra especial de al menos 20,000 unidades. El costo de manejo del comprador es de 30 por ciento anual y el costo de preparar las órdenes de compra es de $40 por pedido. Los costos de transportación se incluyen en el precio.
    a. ¿Debería aceptar el comprador el descuento? Si es así, ¿de que tamaño deberá ser el pedido especial?
    b. Si el pedido especial se realiza, ¿cuánto tiempo deberá permanece el tamaño del pedido en inventario?

ESTUDIO DE CASO

Industrial Distributors, Inc.

Como director de compras de Industrial Distributors, Walter Negley debía planear las cantidades de compra para los productos de más alto valor que Industrial Distributors inventariaba y revendía a sus clientes industriales bajo un ciclo de pedido corto. Uno de estos productos era un motor de reemplazo utilizado en transportadores. Las ventas de reemplazo se recibían de clientes localizados en América del norte y eran aproximadamente constantes durante el año. Los motores se fabricaban en Alemania occidental y se importaban a través del puerto de Baltimore. Se transportaban por camión a un almacén privado de Industrial en el área de Chicago. Aunque el fabricante de Alemania tenía una política de precios que incluía la transportación a Baltimore, Industrial incurría en los gastos de transporte desde Baltimore hasta Chicago. Para ayudar a determinar las cantidades de adquisición, Walter reunió la siguiente información:

Descripción de la información	Cantidades/Costos	Fuente de información
Ventas anuales promedio	1,500 unidades	Ventas
Tiempo de entrega de reabast.	1 mes (0.083 año)	Compras
Costo admvo. por requisición	$20	Contabilidad
Costo auxiliar por requisición	$5	Tráfico
Costo de manejo de inventario	30% por año	Finanzas
Peso empacado por unidad	250 lb	Tráfico
Costo de descarga en el almacén	$0.25 por cwt.	Contabilidad
Cap. de almac. en el almacén[a]	$300 unidades	Gerente de almacén
Tarifas de almac. en almacén púb.	$10 por unidad por año	Almacén público

[a] Sólo existe suficiente espacio en el almacén de la compañía para almacenar 300 unidades. Si se recibe un tamaño de un pedido de reabastecimiento mayor a 300 unidades, el excedente sobre las 300 unidades deberá almacenarse en un almacén público.

El fabricante acaba de anunciar su nuevo programa de precios para los motores puestos en el puerto de Baltimore. Al verificar con su compañía de transporte por camión, para

Unidades por pedido	Precio unitario
Primeros 100	$700
Siguientes 100	$680
Por encima 200	$670

desplazar los motores desde Baltimore, Walter observó que era práctico contratar envíos de carga de camión completo a $12 por cwt. (cwt = 100 lbs) para cantidades de carga completa (TL) de 40,000 lbs o más, o para cantidades menores a carga completa (LTL) a $18 por cwt. ■

PREGUNTAS

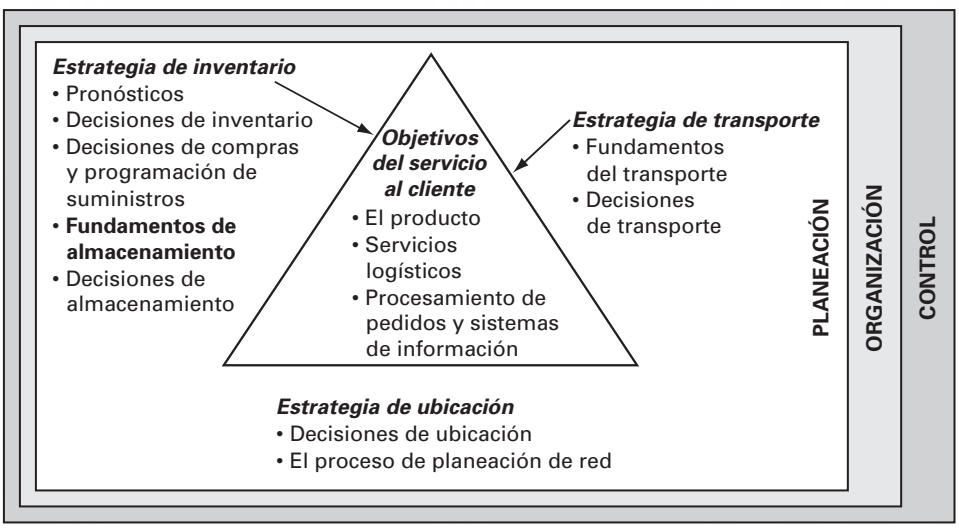
1. ¿Qué tamaño de pedido de reabastecimiento, aproximado a las siguientes 50 unidades, deberá Walter solicitar, dada la política de precios no incluyente del fabricante?

2. ¿Debería Walter cambiar su tamaño de pedido de reabastecimiento si la política de precios del fabricante fuera una donde el precio en cada intervalo de precio según cantidad incluyera a todas las unidades adquiridas?

Capítulo 11

Sistema de almacenamiento y manejo

En contraste con el transporte, el almacenamiento y manejo de los productos tienen lugar primordial en los puntos nodales de la red de la cadena de suministros. El almacenamiento se ha descrito como "transportación a cero millas por hora". Este capítulo se enfoca en las características y los costos de las actividades de almacenamiento y manejo de materiales. Se ha estimado que estas actividades pueden absorber hasta 20% del costo de distribución física de una empresa, y por lo tanto son merecedoras de consideraciones cuidadosas.[1]



[1] Véase de nuevo la tabla 1-3.

Necesidad de un sistema de almacenamiento

¿Realmente necesitan las empresas el almacenamiento y el manejo de materiales como parte del sistema de logística? Si la demanda por los productos de una empresa se conociera con seguridad, y los productos pudieran suministrarse instantáneamente para satisfacer la demanda, teóricamente el almacenamiento no sería necesario, ya que no se mantendría ningún inventario. Sin embargo, ni es práctico ni económico que una empresa opere de esta manera ya que, en general, la demanda no puede pronosticarse con exactitud. Incluso para aproximar una perfecta coordinación entre la oferta y la demanda, la producción tendría que poder responder en forma inmediata, y la transportación tendría que ser perfectamente confiable, con un tiempo de retraso en las entregas igual a cero. Ninguna empresa puede alcanzar esto a un costo razonable. Por ello que las empresas usen los inventarios para mejorar la coordinación entre la oferta y la demanda, y para bajar los costos generales. De aquí se deriva que el mantenimiento de los inventarios produce la necesidad de almacenamiento y también la necesidad de manejar los materiales. El almacenamiento se convierte en una conveniencia económica, más que en una necesidad.

Los costos del almacenamiento y de manejo de materiales se justifican, ya que pueden ser compensados con los costos de transportación y de producción-compras. Es decir, al almacenar cierto inventario, una empresa con frecuencia puede reducir los costos de producción mediante tamaños de lote y de secuenciación de producción económica. De este modo, la empresa evita las amplias fluctuaciones en los niveles de salida, debido a variaciones e incertidumbres en los patrones de la demanda. Además, los inventarios almacenados pueden llevar a disminuir los costos de transportación mediante el envío de cantidades más grandes y más económicas. El objetivo es usar sólo la cantidad justa de almacenamiento con la que se alcance un buen equilibrio económico entre los costos de almacenamiento, producción y transportación.

Razones para el almacenamiento

Hay cuatro razones básicas para usar un espacio de almacenamiento: 1) reducir los costos de producción-transportación; 2) coordinar la oferta y la demanda; 3) ayudar en el proceso de producción, y 4) ayudar en el proceso de marketing.

Reducción de los costos de producción-transportación

El almacenamiento y su inventario asociado son gastos añadidos, pero pueden ser compensados por costos más bajos obtenidos gracias a la mejora en la eficiencia en la transportación y la producción. Para ilustrar la idea de la compensación, consideremos los problemas de distribución de Combined Charities, Inc.

Ejemplo

Las oficinas nacionales de Combined Charities prepararon catálogos para las campañas de colecta de fondos de una serie de reconocidas organizaciones caritativas y políticas. La compañía imprimió los catálogos y los distribuyó entre los puntos de la campaña a nivel geográfico local. Cuando se contrataba un trabajo, el procedimiento normal era dedicar el po-

tencial de mano de obra y el equipamiento de impresión de toda la compañía para preparar los catálogos de una única campaña. A menudo, se trabajaban horas extras. Una vez que se completaba la producción, los catálogos se enviaban directamente, desde el lugar de impresión, a los puntos de distribución local, usando UPS.

El presidente de la compañía, que tenía buen sentido para la administración de la logística/cadena de suministro, pensó que los costos generales podrían reducirse si pudiera rentarse un espacio de almacenamiento en diferentes ubicaciones regionales en todo el país. Pensó que, aunque el almacenamiento sería un gasto añadido, podría enviar cantidades de carga a los almacenes y usar UPS para los envíos de corta distancia, desde los 35 almacenes que había elegido para las áreas locales. Los costos de producción también podrían reducirse porque las zonas locales podrían sacar existencias de los almacenes en lugar de colocar los pedidos directamente en la etapa de la operación de impresión, lo cual, a menudo, originaba un cargo en el esquema de la producción.

El presidente hizo los siguientes cálculos de los costos a *grosso modo* para una campaña típica, en la cual se producirían 5 millones de catálogos:

	Envío directo desde la planta	Envío a través de los 35 almacenes	Cambio en los costos
Costos de producción	$500,000	$425,000	$ –75,000
Costos de transportación:			
Hacia el almacén	0	50,000	+50,000
Hacia la zona local	250,000	100,000	–150,000
Costos de almacenes	0	75,000	+75,000
Total	$750,000	$650,000	$–100,000

El mayor gasto en el almacenamiento está más que compensado por la reducción de los gastos de producción y transportación. Usar el almacenamiento parece ser una opción atractiva.

Coordinación de suministro y demanda

Las empresas con producción altamente estacional, conjuntamente con una razonable demanda constante, tienen el problema de coordinar la oferta con la demanda. Por ejemplo, las compañías alimenticias que producen verduras y frutas envasadas están obligadas a acumular la producción, para proveer el mercado durante la estación en la que no hay cultivos. Por lo contrario, aquellas empresas que tienen que suministrar un producto o servicio a una demanda estacional o incierta producen, en general, a un nivel constante durante todo el año, con el fin de minimizar los costos de producción y construir los inventarios necesarios para satisfacer la demanda durante una estación de ventas relativamente corta. Los aparatos de aire acondicionado domésticos y los equipos para quitar nieve de las calles son algunos ejemplos. Cuando se hace demasiado costoso coordinar la oferta y la demanda con precisión, es necesario el almacenamiento.

Las consideraciones de las cotizaciones de los productos también pueden provocar la necesidad de almacenar. Aquellos materiales y productos que experimentan amplias oscilaciones en el precio de un momento a otro (cobre, acero y aceite) pueden animar a que una empresa compre estos productos básicos anticipándose a sus necesidades, con el fin

de obtenerlos a precios más bajos. Por lo general se necesita el almacenamiento, pero su costo puede compensarse con el mejor precio que se obtiene por los productos básicos.

Necesidades de producción

El almacenamiento puede ser parte del proceso de producción. La fabricación de ciertos productos como quesos, vinos y licores requiere de cierto tiempo para madurar. Los almacenes no sólo sirven para mantener el producto durante esta fase de fabricación sino que, en el caso de los productos gravados con impuestos, sirven para asegurar (o "poner en depósito afianzado") el producto hasta el momento de la venta. De esta manera, las compañías pueden retrasar el pago de los impuestos del producto hasta que éste es vendido.

En algunos casos, el almacén puede desempeñar algunos servicios de "valor añadido", además del de dar cabida al inventario. Ejemplos de dichos servicios para el cliente son el empaque especial, el etiquetado particular y la preparación personalizada del producto. Los servicios de valor añadido son una ampliación del proceso de producción que tiene lugar en un punto adelante de la cadena de suministros.

Consideraciones de marketing

El marketing se preocupa frecuentemente de la rapidez con la que debe estar disponible el producto en el mercado. El almacenamiento se usa para poner valor a un producto. Es decir, al almacenar un producto cerca de los clientes a menudo puede reducir el tiempo de reparto o la oferta puede estar disponible sin demora.

Funciones del sistema de almacenamiento

El sistema de almacenamiento puede separarse en dos funciones importantes: la posesión (almacenamiento) y el manejo (o manipulación) de materiales. Estas funciones pueden verse cuando rastreamos el flujo de productos a través de un típico almacén de distribución de alimentos, como se muestra en la figura 11-1. El manejo de materiales se refiere a las actividades de carga y descarga, al traslado del producto hacia y desde las diversas ubicaciones dentro del almacén y a recoger el pedido. El almacenamiento simplemente es la acumulación de inventario en el tiempo. Se eligen diversas ubicaciones en el almacén y diferentes periodos de tiempo, dependiendo del propósito del almacén. Dentro del almacén, estas actividades de traslado-almacenamiento son repetitivas y análogas a las actividades de traslado-almacenamiento que ocurren entre varios niveles del canal de suministros (véanse de nuevo las figuras 1-2 y 1-4). Por eso, de muchas maneras, el sistema de almacenamiento es un sistema de distribución a nivel micro. La identificación específica de las actividades del sistema principal promueve la comprensión del sistema como un todo, y ayuda a suministrar una base para generar alternativas de diseño.

Funciones del almacenamiento

Las instalaciones de almacenamiento se diseñan alrededor de cuatro funciones principales: mantenimiento o pertenencia, consolidación, carga fraccionada *(break-bulk)* y mezcla. El diseño y la distribución física *(layout)* del almacén reflejan el énfasis particular en satisfacer una o más de estas necesidades.

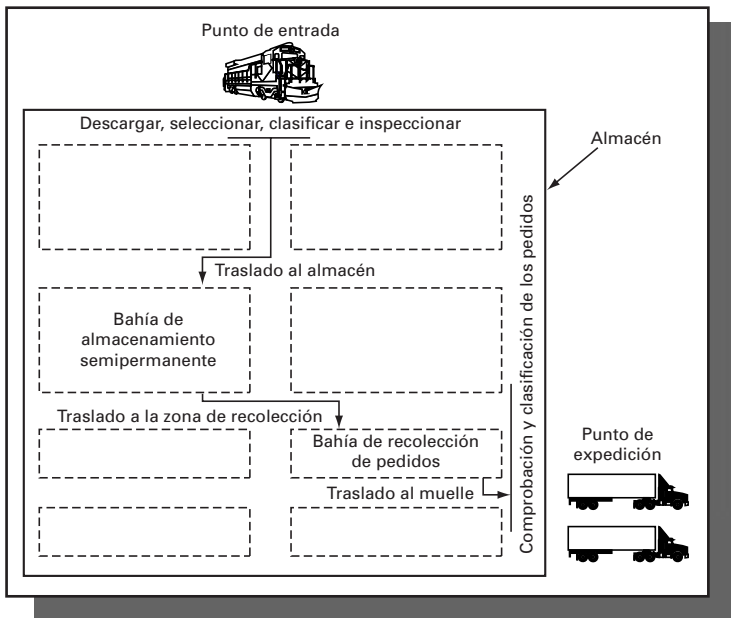


Figura 11-1 Actividades de traslado-almacenamiento de un almacén típico de distribución de alimentos.

Mantenimiento o pertenencia

El uso más obvio de las instalaciones de almacenamiento es suministrar protección y dar cabida ordenada a los inventarios. La duración del tiempo para depositar los bienes y los requerimientos del almacenamiento dictan la configuración de la instalación y su distribución planimétrica. Las instalaciones varían desde las de almacenamiento a largo plazo y especializado (maduración de licores, por ejemplo), hasta las de almacenamiento de mercancías de propósitos generales (mantenimiento estacional de bienes), pasando por el mantenimiento temporal de bienes (como en la terminal de camiones). En este último caso, los bienes se depositan sólo el tiempo suficiente para alcanzar cantidades eficientes para una carga de camión. Los productos almacenados de estos diversos modos incluyen bienes terminados listos para salir al mercado, bienes semielaborados que esperan ensamblaje o más procesamiento, y materias primas.

Consolidación

Las estructuras de las tarifas de transportación, especialmente la ruptura de tarifas *(un movimiento repentino de las tarifas puede romper hacia arriba o hacia abajo),* influyen en el uso de las instalaciones de almacenamiento. Si los bienes se originan a partir de una serie de puntos de origen, puede resultar económico establecer un punto de recolección (un almacén o una terminal de flete) para consolidar los pequeños envíos en otros más grandes (figura 11-2) y para reducir los costos generales de transportación. Esto supone que el comprador no adquiere la suficiente cantidad para garantizar envíos de volumen desde cada punto de origen. Esta diferencia en el flete puede más que compensar los cargos de almacenamiento de campo.

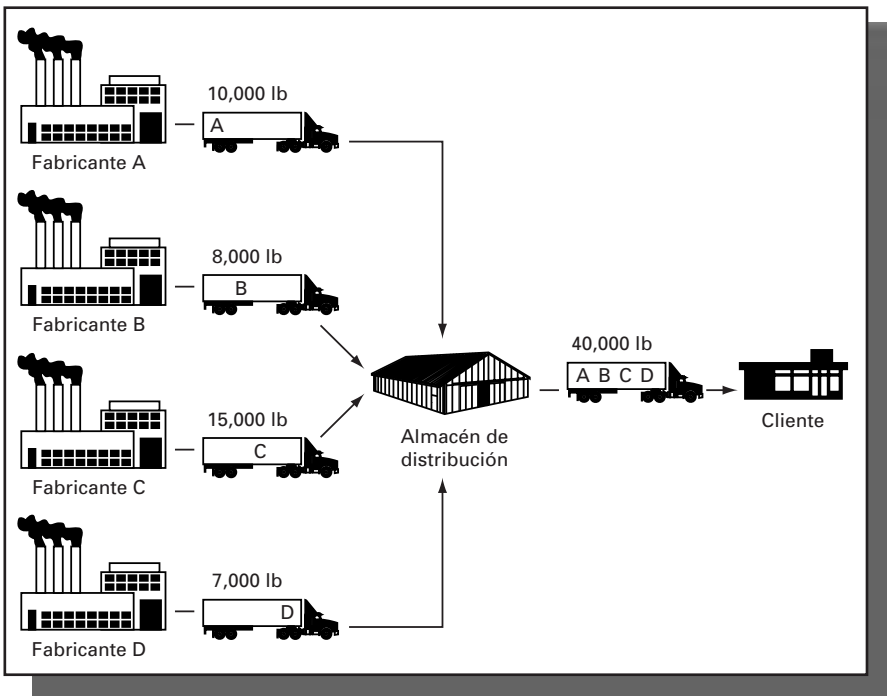


Figura 11-2 Almacén de distribución utilizado para consolidar envíos pequeños de entrada en envíos más grandes de salida.

Ejemplo

Supongamos que el cliente de la figura 11-2 normalmente recibe de cuatro fabricantes, A, B, C y D, envíos de mezcla de productos en cantidades de 10,000, 8,000, 15,000 y 7,000 libras, respectivamente. Si todos los envíos se hacen al cliente en cargas de menos de un camión de carga, el costo total de distribución será de $966 por envío, como se muestra en la tabla 11-1(a). Consolidando los envíos en un almacén de distribución, el costo total de distribución se reduce a $778 por envío, como se muestra en la tabla 11-1(b). En este caso, resulta un ahorro de $188 por envío, incluso después de considerar los costos de almacenamiento.

El término *almacén de distribución*[2] se usa aquí, principalmente, para diferenciarlo de un almacén de depósito. La diferencia es cuánta importancia se da a las actividades de mantenimiento, así como al tiempo en que los bienes están almacenados. Un almacén de depósito implica que gran parte del espacio del almacén se dedica al almacenamiento semipermanente o de largo plazo, como se muestra en la figura 11-3(a). Por lo contrario, un almacén de distribución tiene la mayor parte de su espacio asignado al almacenamiento temporal, y se le da más atención a la velocidad y facilidad del flujo del producto, como en

[2] Se usa *almacén de distribución* como sinónimo de *almacén de campo* y *centro de distribución*.

a) Sin consolidación

Fabricante	Peso del envío (lb)	Tarifa LTL al cliente	Costo
A	10,000	$2.00/cwt.	$200
B	8,000	1.80	144
C	15,000	3.40	510
D	7,000	1.60	112
Total			$966

b) Con consolidación

Fabricante	Peso del envío (lb)	Tarifa LTL al centro de distribución	Total LTL	Cargo del almacén de distribución	Tarifa TL desde el almacén de distribución al cliente	Total TL	Costo
A	10,000	$0.75	$ 75	$10	$1.00/cwt.	$100	$185
B	8,000	0.60	48	8	1.00	80	136
C	15,000	1.20	180	15	1.00	150	345
D	7,000	0.50	35	7	1.00	70	112
Total	40,000						$778

Tabla 11-1 Ejemplo de ahorro potencial de costos asociado con la consolidación en un almacén de distribución

la figura 11-3(b). Obviamente, muchos almacenes operan con ambas capacidades y la diferencia es cuestión de grado.

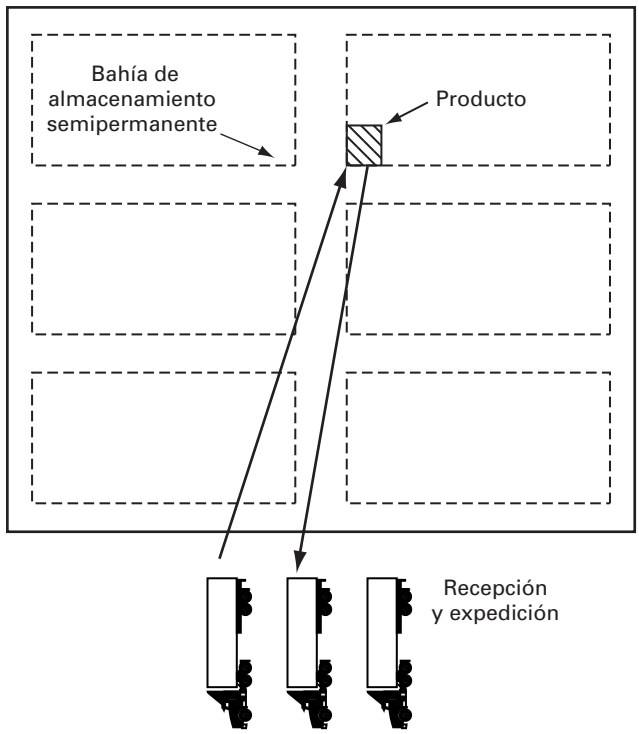
En el límite, un almacén puede centrarse sólo en actividades de recepción y expedición, eliminando actividades de almacenamiento y de recolección de pedidos. A dichos almacenes se les denomina centros de consolidación *(cross docks)*, o puntos de agrupamiento. Los bienes se transfieren directo desde los muelles de recepción y de expedición con poco o ningún almacenamiento. La transferencia por lo general se completa en menos de 24 horas. Comparado con enviar los bienes directo desde sus puntos de origen, el cruce de andén o centro de consolidación se justifica por las economías de transportación que pueden lograrse.

Carga fraccionada (break-bulk)

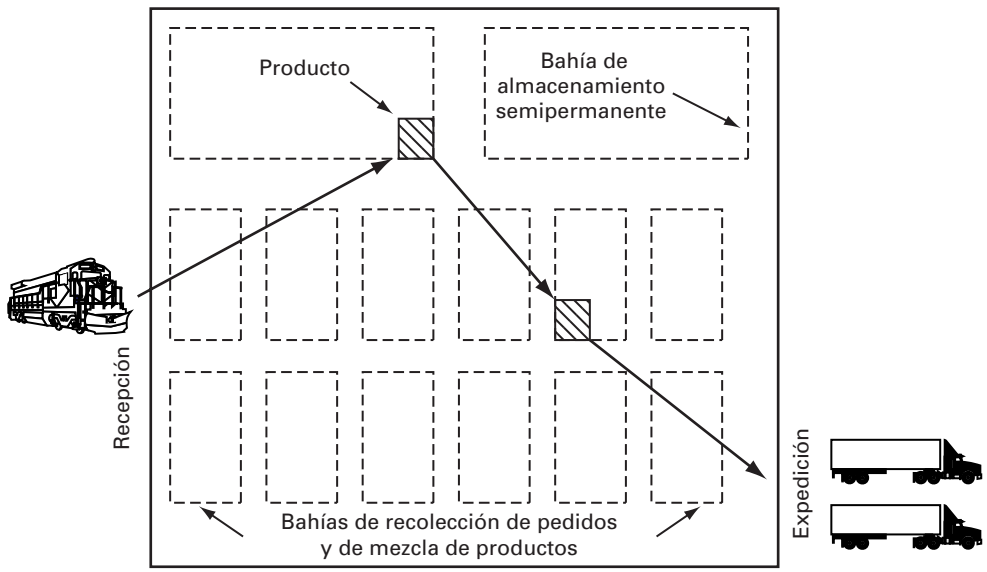
Usar las instalaciones de almacenamiento para fraccionar la carga (traslado de carga) es lo opuesto a usarlas para consolidar los envíos. En la figura 11-4 se ilustra una situación generalizada de carga fraccionada. Los envíos de volúmenes que tienen bajas tarifas de transporte se trasladan al almacén y luego se envían de nuevo en cantidades más pequeñas. La separación de embarques consolidados es común en los almacenes de distribución y terminales, especialmente: 1) cuando las tarifas de transportación de entrada por unidad son menores que las tarifas de expedición por unidad; 2) cuando los clientes hacen pedidos en cantidades de carga de menos de un vehículo, y 3) cuando la distancia entre el fabricante y los clientes es grande. Aunque las diferenciales de la tarifas de transportación tienden a favorecer una ubicación del almacén de distribución cercana a los clientes para las operaciones de carga fraccionada, lo contrario es cierto para la consolidación del flete.

Figura 11-3
Diferencia entre un almacén de depósito y un almacén de distribución.

a) Almacén con énfasis en el almacenamiento de largo plazo



b) Almacén con énfasis en el almacenamiento de corto plazo, mezcla y flujo de materiales



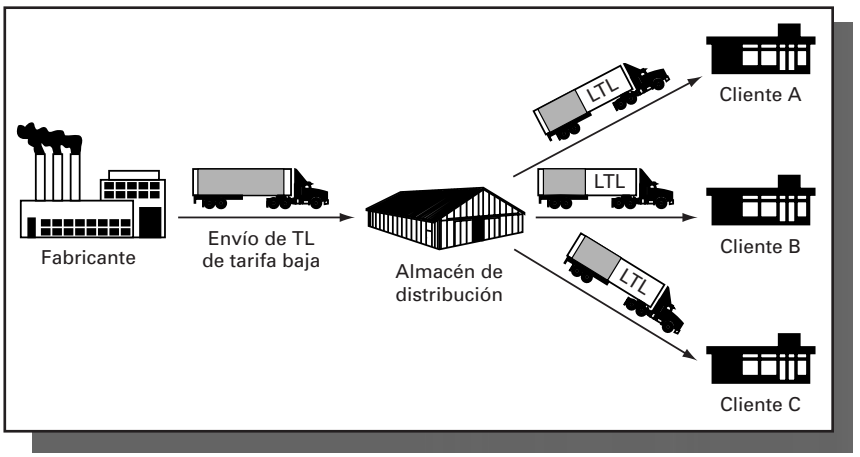


Figura 11-4 Almacén de distribución (punto de agrupamiento, centro de consolidación, o terminal) usado para carga fraccionada.

Mezcla

En la figura 11-5 se muestra el uso de instalaciones de almacenamiento para la mezcla de productos. Las empresas que compran a un número de fabricantes para surtir una parte de su línea de productos en un número de plantas pueden encontrar que establecer un almacén como un punto de mezcla de productos ofrece economías en la transportación. Sin un punto de mezcla, los pedidos de los clientes deberían surtirse directo de los puntos de producción en envíos de pequeños volúmenes a altas tarifas de transportación. Sin embargo, un punto de mezcla permite envíos de volúmenes de las partes de las líneas de productos que tienen que recogerse en un punto único y luego ser reunidos en pedidos y reenviados a los clientes.

Funciones del manejo de materiales

El manejo de materiales dentro de un sistema de almacenamiento y manejo se representa por tres actividades principales: carga y descarga, traslado hacia y desde el almacenamiento, y surtido del pedido.

Carga y descarga

La primera y la última actividad en la cadena de eventos de manejo de materiales es la carga y la descarga (véase de nuevo la figura 11-1). Cuando los bienes llegan a un almacén, tienen que descargarse del equipo de transporte. En muchos casos, la descarga y el movimiento hasta el almacenamiento se manejan como una sola operación. En otros casos hay procesos separados que a veces requieren equipos especiales. Por ejemplo, los barcos se descargan en el muelle usando grúas, y después las tolvas contenedoras ferroviarias se voltean con descargadores mecánicos. Incluso cuando el equipo de descarga no es diferente del equipo usado para trasladar los bienes que se van a almacenar, la descarga puede tratarse como una actividad separada, porque los bienes pueden descargarse y luego ser seleccionados, inspeccionados y clasificados antes de trasladarlos a su ubicación en el almacén.

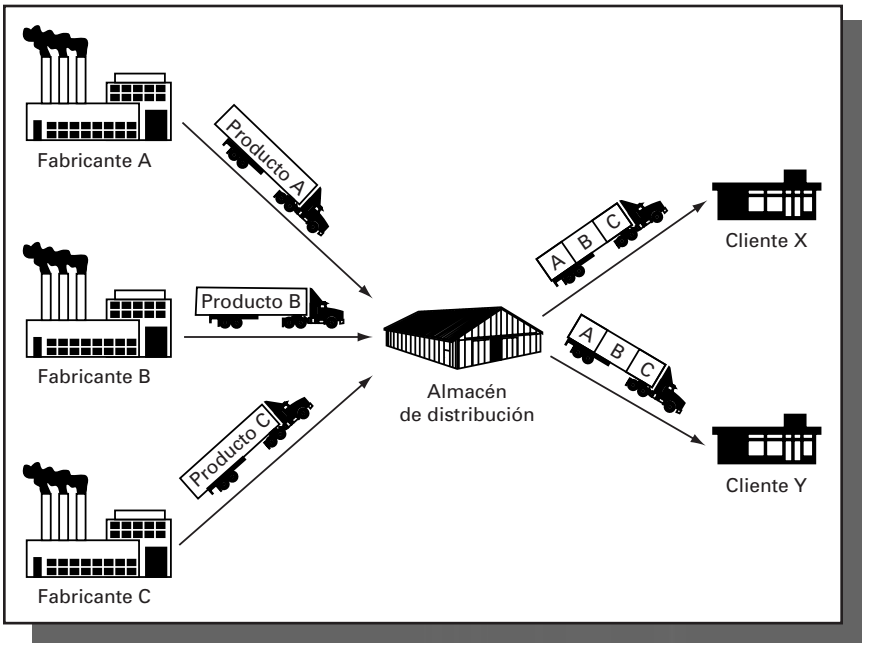


Figura 11-5 Ejemplo generalizado de un almacén de distribución usado para mezcla de producto.

La carga es parecida a la descarga; sin embargo, pueden tener lugar algunas actividades adicionales en el punto de carga. Puede llevarse a cabo una comprobación final referente al contenido y a la secuencia del pedido antes de que el envío se cargue en el equipo de transportación. Además, la carga puede incluir un esfuerzo adicional para prevenir el daño, como el refuerzo y el empacado de la carga.

Traslado hacia y desde el almacenamiento

Entre los puntos de carga y descarga en una instalación de almacenamiento, los bienes pueden trasladarse varias veces. El primer traslado es desde el punto de descarga al área de almacenamiento. Después, el traslado avanza desde el muelle de envío o desde la zona donde se recogen los pedidos para el reaprovisionamiento de existencias. Usar una zona de recogida de pedidos en la operación de manejo provoca un vínculo de movimiento adicional y de puntos nodales en la red del sistema de almacenamiento, como se vio en la figura 11-1.

La actividad real de traslado puede lograrse usando cualquier número de los muchos tipos de equipos de manejo de materiales disponibles. Estos tipos varían desde carretillas y vagonetas manuales hasta sistemas computarizados de apilamiento y recuperación.

Surtido de pedidos

El surtido de los pedidos es la selección de las existencias desde las zonas de almacenamiento según los pedidos de ventas. La selección de los pedidos puede tener lugar directamente desde las zonas de almacenamiento semipermanente, desde las de gran capacidad o desde

zonas (llamadas zonas de recogida de pedidos), que se planifican especialmente para mejorar el flujo de materiales de los pedidos en cantidades de separación de embarques consolidados. El surtido de los pedidos a menudo es la actividad más crítica del manejo de los materiales porque el manejo de pedidos de pequeño volumen es un trabajo intenso y relativamente más costoso que las otras actividades de manejo de materiales.

Alternativas de almacenamiento

El almacenamiento puede tener lugar bajo una serie de acuerdos financieros y legales. Cada uno presenta una alternativa diferente para el encargado de la logística a la hora de evaluar su diseño del sistema logístico. Son importantes cuatro alternativas notables, aunque las diferentes combinaciones de las cuatro pueden crear una variedad casi infinita. Las alternativas básicas son propiedad, renta, arrendamiento y almacenamiento en tránsito.

Propiedad del espacio

La mayor parte de las empresas de fabricación y organizaciones de servicio de alguna manera poseen espacio de almacenamiento, desde un cuarto trasero para los suministros de oficina hasta un almacén de bienes terminados con espacio de cientos de miles de pies cuadrados. Sin embargo, la característica común es que la empresa o la organización tenga una inversión de capital en el espacio y en el equipo de manejo de materiales de las instalaciones. Por esta inversión, la compañía espera una serie de ventajas:

1. Almacenamiento lo menos costoso posible que con renta o arrendado, especialmente si hay gran utilización de la instalación durante la mayor parte del tiempo.
2. Mayor grado de control sobre las operaciones de almacenamiento, lo cual ayuda a asegurar un almacenamiento eficiente y un alto nivel de servicio.
3. La propiedad privada puede ser la única alternativa práctica cuando el producto requiere personal y equipo especializado, como productos farmacéuticos y ciertos productos químicos.
4. Los beneficios que resultan de la posesión de un bien inmueble.
5. El espacio puede modificarse para otros usos en un tiempo futuro, como instalaciones de manufactura.
6. El espacio puede servir como base para una oficina de ventas, flota de camiones privada, departamento de tráfico o departamento de compras.

En resumen, el almacenamiento privado tiene el potencial de ofrecer mejor control, costos más bajos y mayor flexibilidad que si lo comparamos con el espacio rentado de almacén, en especial bajo condiciones de demanda sustanciales y constantes o cuando se necesitan habilidades especiales de almacenamiento.

Espacio rentado

Miles de empresas están en el negocio de suministrar servicios de almacenamiento para otros negocios. Estas empresas pueden ser almacenes públicos, pero también proveedores externos de servicios logísticos o agentes despachadores de flete, ambos suministrando el almacenamiento como parte de su oferta de servicios. Ellos desempeñan muchos de los mismos servicios que se llevan a cabo en un acuerdo de almacenamiento privado, es decir, las actividades de recibir, almacenar, expedir y las que se relacionan con éstos. Estos

proveedores de almacenes son parecidos a las compañías de transportación y mantienen esencialmente la misma relación con el almacén privado que el transportista común mantiene con una propiedad privada de flota de camiones.

Tipos de almacenes

Los tipos de almacenes que pertenecen a una compañía son de una variedad casi infinita, dados los diseños personalizados que siguen las necesidades especializadas. Por lo contrario, un almacén público sirve para satisfacer el amplio rango de necesidades de las compañías. Por eso, cuando los comparamos con los almacenes privados, los almacenes públicos están bastante más estandarizados en la configuración del espacio y en el uso del equipo para múltiples propósitos. Muchos de tales almacenes son instalaciones que han sido remodeladas: a menudo edificios que fueron usados previamente como fábricas.

Los almacenes públicos pueden clasificarse en un número limitado de grupos.

1. *Almacenes de productos o mercancías*. Estos almacenes limitan sus servicios a guardar y manejar ciertas mercancías, como madera, algodón, tabaco, grano y otros productos que se deterioran fácilmente.
2. *Almacenes de volúmenes grandes*. Algunos almacenes ofrecen guardar y manejar productos de gran volumen (a granel), como productos químicos líquidos, aceite, sales para autopistas y almíbares. También mezclan productos y separan embarques consolidados como parte de su servicio.
3. *Almacenes de temperatura controlada*. Hay almacenes que controlan el ambiente del almacenamiento. Tanto la temperatura como la humedad pueden regularse. Los bienes perecederos, como frutas, verduras y comidas congeladas, así como algunos productos químicos y medicamentos, requieren de este tipo de almacenamiento.
4. *Almacenes de bienes domésticos*. Guardar y manejar artículos y menaje del hogar son la especialidad de estos almacenes. Aunque los fabricantes de muebles pueden usar estos almacenes, los usuarios principales son las compañías de mudanzas de bienes domésticos.
5. *Almacenes de mercancía en general.* Estos almacenes, el tipo más común, manejan un amplio rango de mercancías. Normalmente, la mercancía no requiere las instalaciones especiales de los casos anteriores.
6. *Minialmacenes*. Estos son pequeños almacenes con espacio unitario de 20 a 200 pies cuadrados y a menudo se juntan en agrupaciones. Tienen la intención de ser un espacio extra y suministran pocos servicios. Una ubicación conveniente para los arrendatarios es lo atractivo, pero la seguridad puede ser un problema.

En la práctica, un almacén público tal vez no sea estrictamente alguno de estos tipos. Por ejemplo, un almacén de mercancía en general que maneje productos de alimentación puede hallar la operación de una sección de refrigeración como una necesidad. Además, en algunos casos es buena práctica combinar el almacenamiento de gran volumen con el almacenamiento de mercancía general.

Ventajas inherentes

El almacenamiento público, o espacio rentado de almacén, ofrece muchas ventajas, un número de las cuales son las opuestas a las de los almacenes privados. Algunas de éstas son las siguientes:

1. *No hay inversión fija.* El uso del almacenamiento público no requiere inversión de la empresa que paga la renta del espacio. Todos los costos de almacenamiento para la firma

usuaria son variables, es decir, directamente proporcionales a la cantidad de los servicios del almacén que utilice. No tener inversión en instalaciones de almacenamiento es beneficioso cuando una empresa tiene otros usos prioritarios para el capital o, simplemente, no tiene el capital para invertir de esta manera.

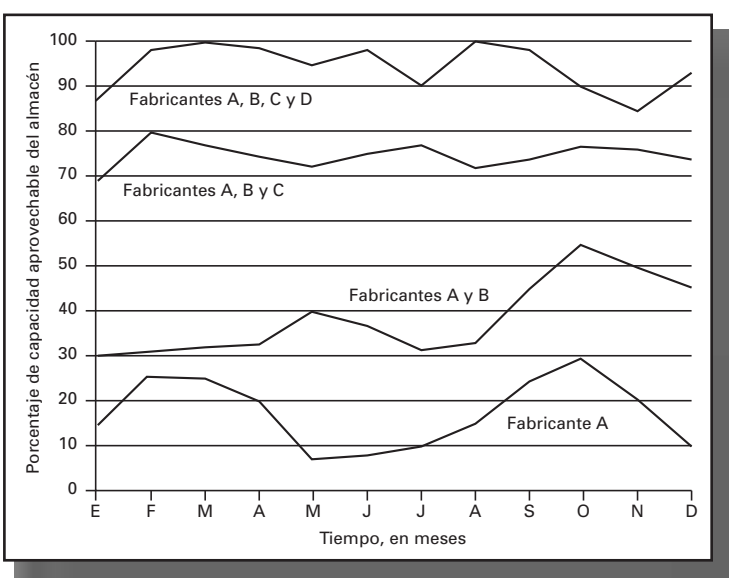
2. *Costos más bajos*. El almacenamiento público puede ofrecer costos más bajos que el privado o el arrendado, en los casos en los que hay baja utilización del espacio privado, como cuando deben almacenarse inventarios estacionales. Pueden encontrarse ineficacias en el almacenamiento privado, debido a una sobre- o infrautilización del espacio. El almacenista público intenta equilibrar los patrones de inventario estacional de algunos fabricantes y los beneficios de una utilización relativamente llena y constante de la capacidad, como se muestra en la figura 11-6.

3. *Flexibilidad de la ubicación*. Dado que los convenios con los almacenes públicos son, generalmente, en una base de corto plazo, es fácil y barato cambiar las ubicaciones de los almacenes según lo cambia el mercado. Esta carencia de compromiso de largo plazo ofrece una importante flexibilidad, necesaria para mantener una red logística óptima.

Servicios

Los almacenes públicos ofrecen una amplia variedad de servicios para atraer y retener a sus clientes. La mayor parte de los almacenes suministran servicios básicos, como recibir, guardar, enviar, consolidar, mezclar y separar los embarques consolidados. A menudo ofrecen mucho más. Según la Asociación Americana de Almacenistas, se pueden esperar los siguientes servicios de un almacén público.

Figura 11-6 Equilibrio de los picos y valles estacionales en los niveles de inventario entre diferentes fabricantes para mantener una utilización completa de la capacidad útil de los almacenes públicos.



- Manejo, almacenamiento y distribución, por paquete o por quintal
- Almacenamiento en tránsito
- Almacenamiento puesto en depósito afianzado de las aduanas de Estados Unidos
- Almacenamiento puesto en depósito afianzado de Hacienda de Estados Unidos
- Espacio controlado de temperatura y humedad
- Renta de espacio en base a pies cuadrados
- Oficina y espacio de exhibición; oficinas especiales y servicios telefónicos
- Información de tráfico
- Manejo y distribución de vehículos combinados y de envíos consolidados
- Inventarios físicos
- Instalaciones modernas de datos
- Plan de consolidación de fletes
- Servicio de empaquetamiento y ensamblaje
- Fumigación
- Marcaje, etiquetado, estarcido, envolturas (o cubiertas)
- Paquetes postales, UPS y envíos urgentes
- Material para sujetar la carga y refuerzos
- Carga y descarga de autos y camiones
- Reparación, reparación de barriles, muestras, pesaje e inspección
- Recolecciones C.O.D.
- Declaraciones de recopilaciones especiales de existencias
- Mantenimiento de listas acreditadas de clientes y su reparto
- Camiones locales y de distancias largas
- Reparto e instalación de aparatos eléctricos
- Formas de recepción de almacenes, negociables y no negociables
- Informes preparados de caducidad, carencia y daños
- Cargos prorrateados de flete
- Pagos previos de cartas de portes (documentos de embarque)
- Información de crédito
- Préstamos sobre las mercancías almacenadas
- Servicios de almacenamiento de campo
- Servicios marítimos de terminal de flete
- Almacenamiento de maquinaria, acero y otros artículos que requieran equipo especial de manejo
- Almacenamiento de patio
- Manejo, guarda y ensacado de mercancías secas de gran volumen
- Manejo, guarda, toneles y embotellado de volumen líquido
- Manejo y almacenamiento de materiales en contenedores[3]

Algunos de estos servicios requieren mención especial, bien porque son únicos del almacenamiento público o bien porque son importantes para los usuarios potenciales.

Se firman con el gobierno convenios para *poner en depósito afianzado* algunos bienes, como tabaco y licor, en los cuales se recaudan impuestos o aranceles. El convenio es entre el propietario de la mercancía y el gobierno, por medio del cual los bienes no pueden ser retirados del almacén (a menos que sean llevados a otro almacén en depósito afianzado) hasta que se paguen los impuestos o aranceles requeridos. El propietario de los bienes se

[3] American Warehousemen's Association, Chicago, IL.

beneficia de no tener que pagar los impuestos o los aranceles hasta que se vendan los bienes, y de este modo minimiza el capital destinado a los bienes inventariados. Los almacenistas públicos actúan como agentes que aseguran al gobierno que los bienes que se dice que están en los almacenes realmente están ahí. El concepto de poner una mercancía en depósito afianzado se extiende también a los bienes almacenados en almacenes privados.

El concepto de poner una mercancía en depósito afianzado puede aplicarse a los bienes que entran al país y que son destinados para mercados nacionales o extranjeros. Se han establecido zonas de libre comercio por todo el país, normalmente en zonas portuarias. Estas áreas cerradas pueden contener instalaciones de fabricación o almacenamiento. Una compañía extranjera puede desembarcar bienes en la zona de libre comercio, llevar adelante una fabricación ligera, almacenar los bienes y no pagar aranceles de importación hasta que los bienes entren a una parte del país que esté fuera de la zona. Si los bienes se trasladan a mercados extranjeros, no se pagan aranceles de importación.

El *almacenamiento de campo* es un método por el cual el almacenista público ayuda al propietario de los bienes almacenados a incrementar su capital de trabajo. Es la conversión del espacio de almacén privado en espacio de almacén público para asegurar un crédito. La compañía del almacén público usualmente arrienda al propietario de los bienes una parte del almacén privado, en la cual se guardan los bienes y expide un certificado de almacén. Entonces, el propietario puede usar el certificado para obtener créditos, usando los bienes como garantía o respaldo para un préstamo. Dado que los bienes están bajo custodia legal del almacenista público, la compañía del almacén público actúa como tercera parte para garantizar que la garantía para el préstamo existe. Establecer el almacén en la propiedad del propietario ahorra el gasto de trasladar los bienes a un almacén público y los gastos de almacenamiento mientras están en dicho almacén. Por lo general, el acuerdo es temporal, estando en vigor lo que dure el préstamo.

Emplazamiento de existencias es un término colectivo para una serie de actividades relacionadas con el surtido del pedido y es una extensión de la función de carga fraccionada (separación de embarques consolidados). Los almacenes públicos han respondido a la creciente necesidad de los fabricantes de suministrar un alto nivel de servicio al cliente para mayoristas y minoristas que mantienen poco inventario con el fin de cumplir sus necesidades de ventas. Los productores "emplazan" un surtido de sus bienes en almacenes públicos cercanos a sus mercados. El almacén público sirve como almacén derivado que desempeña todas las funciones normalmente manejadas por un almacén propiedad del productor. El tiempo del ciclo de pedido se reduce considerablemente comparado con el almacenamiento privado más centralizado que puede estar usando el productor.

El almacenista público también puede ayudar en el *control de inventarios*. Con muchos *stocks* localizados en todo el país, mantener registros confiables del inventario puede ser un problema, incluso si la compañía tiene su propio sistema de mantenimiento de registros. Los almacenistas públicos ayudan en este asunto manteniendo balances perpetuos de inventario, anotando el *stock* no vendible y el dañado en tránsito, manteniendo registros de llegadas de existencias al almacén, y asentando los desembolsos. Los almacenes públicos usan computadoras para gran parte del mantenimiento de registros.

Si el almacenista público, o proveedor de servicio similar, maneja el procesamiento de pedidos y el reparto a los clientes, el rastreo de los pedidos también puede ser un servicio. Dicha información de rastreo puede interrelacionarse con otros sistemas de información del canal de suministros, de tal forma que los clientes finales pueden seguir el estado de su pedido desde la entrada del pedido hasta su entrega.

No esperamos que todos los almacenes públicos proporcionen la clase de servicios completos. La mayoría son empresas pequeñas de propietarios locales. Sólo las más grandes tienen los recursos para ofrecer una amplia gama de servicios. Por lo tanto es importante que el usuario de los servicios de almacenamiento público sea selectivo.

Documentación y consideraciones legales

Los almacenes públicos son custodios de la propiedad pública. Bajo esta responsabilidad hay otras responsabilidades que los almacenistas públicos acuerdan aceptar. A partir de los términos y condiciones que figuran en los contratos estándar aprobados por la Asociación Americana de Almacenistas, se pone de relieve el siguiente párrafo sobre responsabilidades:

> El almacenista no será responsable de ninguna pérdida o daño ocasionado a los bienes guardados como quiera que hayan sido causados, a menos que tal pérdida o daño fuera resultado de fallos atribuibles al almacenista en el ejercicio de su cuidado, como un hombre razonablemente cuidadoso ejercería en circunstancias similares, y el almacenista no es responsable por daños que no hubieran podido ser evitados por el ejercicio de tal cuidado.[4]

La esencia de esta declaración es que la responsabilidad legal de los almacenistas públicos es la de ejercitar un cuidado razonable en el manejo y almacenamiento de los bienes depositados para su custodia. Si el daño o la pérdida no pudo haberse evitado mediante un cuidado razonable, el almacenista no es responsable, a menos que se hayan firmado acuerdos contractuales específicos para cubrirlos. El propietario de la mercancía puede desear extender su protección frente a esta responsabilidad y a contingencias mediante la protección de seguros o incluyendo en su contrato con el almacén público una provisión por responsabilidad añadida, por la cual el almacenista hace un cargo adicional.

Dado que los almacenes públicos operan en el interés público, algunos estados mantienen un control legislativo mediante una comisión pública de servicios públicos en el estado en cuestión. Sin embargo, la legislación no es extensiva como alguna vez lo fue y ahora incluye a los almacenes establecidos sólo en California, Minnesota y Washington. El Código de Uniformidad Comercial *(Uniform Commercial Code),* que afecta a todos los almacenes públicos de todos los estados excepto Luisiana, define las responsabilidades de los almacenistas públicos y establece la uniformidad en la emisión de los certificados de almacenes. En Luisiana, el Acta de Uniformidad de Certificados de Depósito *(Uniform Warehouse Receipts Act)* define las responsabilidades de los almacenistas.

Algunos tipos de documentación llegan a ser importantes para operar los almacenes públicos sin sobresaltos. Los documentos principales son el certificado de depósito, la carta de porte (o documento de embarque), el informe de sobrantes, carencias y daños, y el informe del estado de inventario.

El *certificado de depósito (resguardo de almacén, guía de depósito)* es el documento principal en el que se identifica qué está siendo guardado, dónde se almacenan los bienes, quién posee los bienes, a quién tienen que repartirse, y los términos y condiciones del contrato de almacenamiento. Los términos y condiciones del contrato, especificados bajo el Código de Uniformidad Comercial *(Uniform Commercial Code)* o el Acta de Uniformidad de Certificados de Depósito *(Uniform Warehouse Receipts Act)* aparecen, normalmente, al dorso del certificado de almacén.

[4] Íbid.

Los certificados de depósito pueden ser negociables o no negociables. La diferencia radica en la facilidad para pasar los bienes de una persona a otra. Un certificado no negociable es emitido a nombre de una persona o compañía designada. Los bienes no pueden pasarse a otra persona sin instrucciones escritas al almacén para liberar los bienes. Por lo contrario, el certificado negociable puede ser emitido a una persona o compañía, o puede no ser emitido a ninguna persona en concreto. Simplemente, puede pasarse de una persona a otra mediante el endoso del certificado. El almacenista libera los bienes a quienquiera que posea el certificado. La característica negociable del certificado del almacén facilita el uso de los bienes como garantía de un préstamo.

El *conocimiento de embarque* (o carta de porte) es el documento contractual usado en el traslado de los bienes. Describe los términos y condiciones bajo los cuales un transportista traslada dichos bienes. Dado que normalmente las ubicaciones del origen (el almacén público) y del destino de los bienes están separados, el almacenista público a menudo emite este documento en nombre del propietario de los bienes.

El *informe de excedentes, carencias y daños* (*E, C & D)* se emite sobre recibo de los bienes en el almacén, y sólo si los bienes no llegan en buenas condiciones o según lo establecido en el conocimiento de embarque. El informe E, C & D sirve como base para levantar una queja contra el transportista.

El *informe del estado del inventario* muestra la posición del inventario en el almacén a finales de mes en términos de artículo, cantidad y peso. También puede usarse como base para calcular los cargos de almacenamiento.

Espacio arrendado

El espacio arrendado para muchas empresas representa una opción intermedia entre la renta del espacio a corto plazo en un almacén público y el compromiso a largo plazo de un almacén privado. La ventaja de arrendar un espacio de almacenamiento es que puede obtenerse una tarifa más baja del propietario del espacio. Sin embargo, dado que el usuario del espacio debe garantizar (mediante un contrato de arrendamiento) que pagará la renta del espacio durante un tiempo especificado, se pierde cierta flexibilidad de ubicación. Sin embargo, dependiendo de la duración del arrendamiento, el usuario puede también tener control sobre el espacio de almacenamiento y las operaciones asociadas, lo cual es una ventaja para el usuario.

Puede obtenerse espacio de almacenamiento por arrendamiento de varias maneras. Los almacenistas públicos pueden ofrecer contratos ampliados de tiempo de su espacio. El espacio puede estar disponible para fabricantes que no pueden utilizar completamente sus almacenes privados. La tercera parte de los proveedores de logística ofrecen espacio de almacén así como otros servicios logísticos. Finalmente, los propietarios de los almacenes privados pueden encontrar ventajoso vender sus almacenes y luego solicitarlos en arrendamiento a quienes se lo compraron.

Almacenamiento en tránsito

El *almacenamiento en tránsito* se refiere al tiempo que los bienes permanecen en el equipo de transportación durante el reparto. Es una forma especial de almacenamiento que requiere coordinación con la elección de un modo o servicio de transportación. Dado que las diferentes opciones de transportación significan diferentes tiempos de tránsito, es posible para el logístico seleccionar un servicio de transportación que pueda reducir sustancialmente o incluso eliminar la necesidad del almacenamiento convencional. Esta alternativa es particularmente atractiva para aquellas compañías que manejan inventarios estacionales y envíos a largas distancias.

Ejemplo

La United Processors Company cosecha y procesa una variedad de frutas y verduras en las regiones agrícolas del sur y oeste del país. Para productos tales como fresas y sandías, hay pronósticos de que va a haber una fuerte demanda en el este y el medio oeste, justo antes de la estación local de cultivo. Dado que United Processors debe cosechar antes que en los climas del norte, la oferta se construye antes de los picos de la demanda. Los inventarios normalmente se forman en las áreas de cultivo antes de que se hagan los envíos por carretera a las zonas de la demanda. Cambiando al servicio de ferrocarril, y debido a los largos tiempos de tránsito asociados con éste, la compañía en muchos casos podría enviar los productos inmediatamente después de cosechar y hacer que dichos productos llegaran al mercado justo en el momento en que se desarrolla la fuerte demanda. De esta manera, el ferrocarril tiene una función de almacenamiento. El resultado es una reducción sustancial en los costos de almacenamiento, así como en los costos de transportación.

Consideraciones del manejo de materiales

Las consideraciones del manejo de materiales son una parte integral de la decisión de espacio de almacenamiento. Si la opción es un almacenamiento público, la compatibilidad del sistema de manejo de materiales de la compañía con el del almacén público es una consideración principal. Si se selecciona un almacén controlado por la compañía, la eficiencia de toda la operación de manejo de materiales es un tema de importancia. El manejo de materiales es una actividad de gran absorción de costos, aunque tiene algún impacto en el tiempo de ciclo de pedido del cliente y, por lo tanto, en el servicio al cliente. Por eso, los objetivos para el manejo de materiales están centrados en el costo, es decir, reducir el costo de manejo e incrementar la utilización del espacio. La mejora de la eficiencia en el manejo de materiales se desarrolla paralela a cuatro líneas: agrupamiento de la carga, distribución del espacio del almacén, elección del equipo de almacenamiento y elección del equipo de movimiento.

Agrupamiento de la carga

Un principio fundamental en el manejo de materiales es que

> en general la economía del manejo de materiales es directamente proporcional al tamaño de la carga manejada.[5]

Es decir, cuando el tamaño de la carga se incrementa, menor es el número de trayectos requeridos para almacenar una cantidad dada de bienes y mayor será la economía. El número de trayectos se relaciona directamente con el tiempo de mano de obra necesario para mover los bienes, así como con el tiempo que el equipo de manejo de materiales está en servicio. La eficiencia, a menudo, puede mejorarse mediante la consolidación de juntar un número de pequeños paquetes en una sola carga, y luego manejar la carga consolidada. A esto lo llamamos agrupamiento de carga y se realiza, comúnmente, mediante entarimado y uso de contenedores.

Entarimado

Una tarima (o patín) es una plataforma portátil, por lo general hecha de madera o cartón grueso corrugado, sobre las cuales los bienes son apilados para su transportación y almacenamiento. Los bienes a menudo son colocados en tarimas en el momento de la manufactura y perma-

[5] Stanley M. Weir, *Order Selection* (Nueva York: American Management Association, 1968), págs. 4-5.

necen entarimados hasta que el surtido de pedidos requiere la separación de cantidades de gran volumen. El entarimado ayuda al traslado, lo que permite el uso de equipos mecánicos estandarizados de manejo de materiales para manipular una amplia variedad de bienes. Aún más, ayuda en el agrupamiento de la carga con aumento resultante del peso y el volumen de materiales manejado por trabajador-hora. También incrementa la utilización del espacio suministrando más apilamiento estable, y por lo tanto pilas más altas de almacenamiento.

Las tarimas pueden hacerse de cualquier tamaño deseado. El tamaño más popular en Estados Unidos es de 40 por 48 pulgadas (100 por 120 cm), lo que permite que se coloquen dos tarimas una al lado de otra en un contenedor estándar o en un camión con remolque. Los tamaños comunes adicionales son de 32 por 40 pulgadas, 36 por 42 pulgadas y 48 por 48 pulgadas. Otros países pueden usar otros tamaños. Por ejemplo, Australia tiene un tamaño estándar de tarima de 46 por 46 pulgadas, y Brasil favorece las de 120 por 100 cm. El tamaño de la tarima y su configuración dependen del tamaño, la forma, el peso y la compresibilidad de los bienes y la capacidad del equipo de manejo de materiales. Además, al elegir un tamaño de tarima se debería considerar la compatibilidad dentro del sistema propio de manejo de materiales y la compatibilidad con los sistemas de manejo de materiales externos a la empresa que también tiene que manejar los bienes, como los de los almacenes públicos y los de los clientes de la empresa. Después de considerarse estas necesidades, debería seleccionarse el tamaño más grande disponible de tarima para minimizar el número de tarimas requeridas y minimizar su manejo. Al cargar la tarima debería considerarse la distribución y estabilidad de la carga.

La tarima es un artículo añadido al costo en el sistema de manejo de materiales. Tiene que justificarse basado en los ahorros realizados a partir de su uso.

Uso de contenedores

La compatibilidad ideal del agrupamiento de carga y el sistema de manejo de materiales es el contenedor. Los contenedores son cajones grandes en los que se almacenan y se transportan otras cajas. Pueden ser a prueba de agua y con cerrojos para efectos de seguridad, por lo que no se necesita el almacenamiento ordinario. El almacenamiento puede tener lugar en un sitio abierto. Puede usarse equipo estandarizado de manejo de materiales para moverlos, y son intercambiables entre los diversos modos de transportación.

La estandarización del tamaño será la clave para difundir el uso del contenedor. Dados los muchos grupos de interés en todos los sistemas de transportación-almacenamiento aquí y en el extranjero, los tamaños de los contenedores todavía no están estandarizados. Los contenedores son caros, y quizá sea necesario que surja algún plan para compartir los costos, además de programas de intercambio de contenedores, antes de que su uso llegue a ser un método común en el manejo de materiales, en vez de serlo casi exclusivamente para los movimientos internacionales.

Distribución del espacio

La ubicación de las existencias en el almacén afecta directamente a los gastos de manejo de materiales de todos los bienes que se mueven por el almacén. Se busca un equilibrio entre los costos de manejo de materiales y la utilización del espacio del almacén. En el diseño interno del almacén hay consideraciones específicas sobre el espacio de almacenamiento y la recogida de pedidos.

Distribución para almacenamiento

En los almacenes donde la rotación es baja, la principal preocupación es configurar el almacén para el almacenamiento. Las bahías de almacenamiento pueden ser anchas y pro-

fundas, y el apilamiento puede ser tan alto como el techo o la estabilidad de la carga lo permitan. Los pasillos pueden ser estrechos. Esta distribución supone que el tiempo extra requerido para trasladar el *stock* dentro y fuera de las zonas de almacenamiento está más que compensado por la utilización completa del espacio.

Cuando la rotación de las existencias se incrementa, dicha distribución llega a ser progresivamente menos satisfactoria, y tienen que hacerse modificaciones para mantener razonables los costos de manejo. Por eso, los pasillos tenderán a ser más anchos y puede disminuir la altura de las pilas. Éstas reducirán el tiempo que se tarda en colocar y recuperar el *stock*.

Distribución para recolección de los pedidos

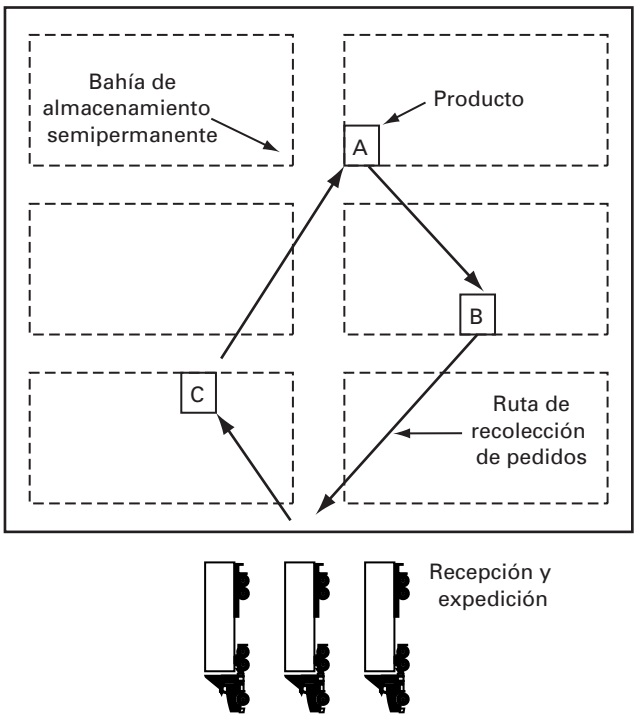
Dado que el patrón usual de flujo en un almacén es que los bienes que entran lo hagan en cantidades unitarias más grandes que las que salen, las consideraciones de la recogida de pedidos llegan a ser determinantes principales en la distribución del espacio del almacén. Se puede gastar una cantidad desproporcionadamente grande de tiempo de mano de obra en levantar los pedidos, más que en recibirlos y almacenarlos en el *stock*. La distribución del espacio más sencillo para recoger los pedidos es usar las zonas de almacenamiento existentes (a las que nos referiremos como un *sistema de zonas*), con algunas modificaciones como la altura del apilamiento, la ubicación de los bienes en relación con los muelles de salida, y los tamaños de bahía, según sean necesarios para que sean más eficientes [véase figura 11-7(a)]. Si la rotación de los bienes es alta y el surtido de los pedidos requiere de la separación de cargamentos consolidados, usar las bahías de almacenamiento para realizar tanto las necesidades de almacenamiento como las de recogida de pedidos puede provocar costos de manejo de materiales más altos de los necesarios y utilización deficiente del espacio del almacén. Esto es, el tiempo de trayecto es largo cuando hay largas distancias para surtir los pedidos en el diseño de las rutas de todo el almacén, cuando las cargas unitarias se separan de tal manera que se disminuyen el apilamiento ordenado y la colocación de los bienes, y cuando se reduce la utilización del espacio.

Un plan alternativo de distribución del espacio es establecer bahías de existencias en el almacén, según su función primaria. A esto se llama *sistema de zonas modificado*. Ciertas zonas del almacén se diseñarían alrededor de las necesidades de almacenamiento y de la utilización total del espacio, en tanto que otras se diseñarían alrededor de los requerimientos del levantamiento de pedidos y de un mínimo tiempo de trayecto para dicho levantamiento [figura 11-7(b)]. Las bahías de almacenamiento (reserva) se usan para el almacenamiento semipermanente. Cuando hay pocas existencias en las bahías de recogida de pedidos, éste se reaprovisiona con *stock* de las bahías de almacenamiento. Con excepción de los grandes artículos de volumen, que pueden recogerse de las zonas de almacenamiento, todas las cargas unitarias se separan en la zona de recogida de pedidos. Las bahías de recogida de pedidos tienden a ser más pequeñas que las bahías de almacenamiento, a menudo con una profundidad de dos paletas o con estanterías de almacenamiento de la mitad del tamaño de aquellas de la sección de reserva. La altura de la pila de recogida de pedidos se limita a un alcance cómodo para los trabajadores. Usar zonas de recogida de pedidos separadas de la zona de reserva minimizará el tiempo de ruta y el tiempo de servicio para surtir los pedidos.

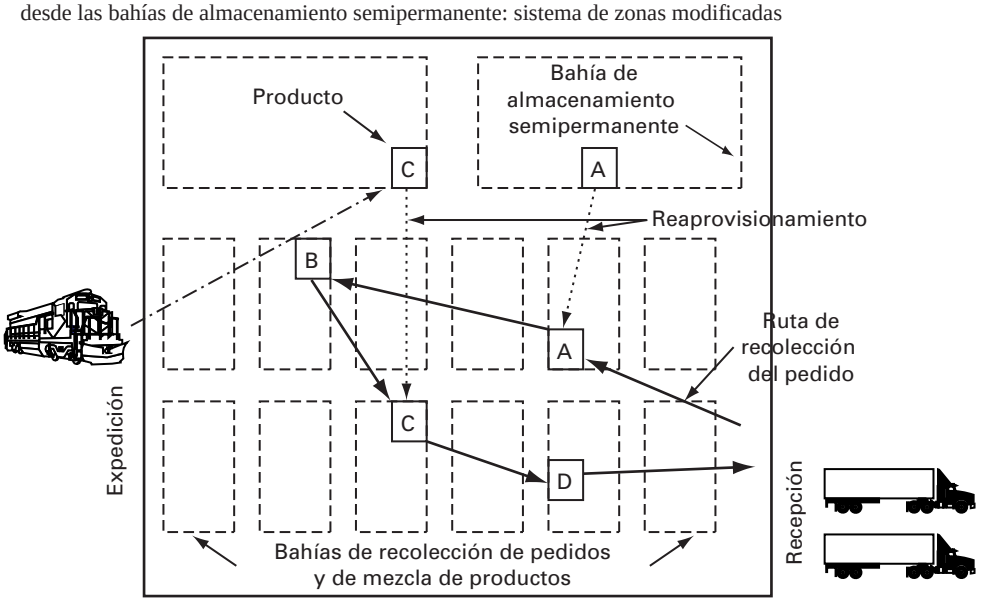
El tiempo de trayecto de la recogida de pedidos puede reducirse aún más mediante la elección de equipo especializado para recoger pedidos, como estanterías de flujo, correas transportadoras, cuerdas de remolques, escáneres y otros equipos de manejo de materiales; y mediante el diseño de las operaciones, como la secuenciación, la división en zonas y el procesamiento por lotes. Dado que el equipo de manejo de materiales se comenta en otra sección de este capítulo, en este punto sólo se mencionarán las consideraciones de operación.

Figura 11-7
Representación generalizada de recolección de pedidos desde las zonas de almacenamiento, en comparación con la recolección de pedidos desde las bahías diseñadas por separado.

a) Recolección de pedidos desde las bahías de almacenamiento: un sistema de zonas



b) Recolección de pedidos desde las bahías, con reaprovisionamiento de existencias desde las bahías de almacenamiento semipermanente: sistema de zonas modificadas



La *secuenciación* es la disposición de los artículos necesarios para un pedido en la secuencia en la que aparecen en la ruta de surtido del pedido por todo el almacén. Evitar el apilamiento posterior ahorra tiempo de recogida de pedidos. Esta técnica puede aplicarse tanto a los sistemas de zonas como a los de zonas modificadas; sin embargo, tiene una desventaja. La secuenciación tiene que ocurrir según el pedido de ventas en sí, mediante la cooperación con el cliente o personal de ventas, o bien secuenciando los datos del artículo después de recibir el pedido.

La *división en zonas* se refiere a asignar recolectores individuales de pedidos para atender sólo un número limitado de los artículos del *stock,* en vez de diseñar rutas por todo el inventario. Un recolector de pedidos puede seleccionar las existencias de una zona única aislada o diseñada, y surtir sólo una parte del pedido total del cliente. Aunque la zonificación permite una utilización equilibrada de la mano de obra y tiempo mínimo de trayecto en la recolección de pedidos, también tiene algunas deficiencias. Primero, requiere que el *stock* se localice en zonas según la frecuencia de pedidos, el peso de los artículos, la similitud de los artículos y similares, de tal forma que la carga de trabajo de los recolectores de pedidos esté equilibrada. Segundo, los pedidos de ventas deben estar subdivididos y se debe desarrollar una lista de recolección para cada zona. Tercero, las diferentes partes de los pedidos deben reensamblarse en un pedido completo antes de abandonar el almacén. Si el levantamiento del pedido avanza de una zona a otra para evitar el problema de reensamblaje, entonces la marcha de la recolección del pedido llega a ser dependiente de la marcha de la recolección de los pedidos de otras zonas.

El *procesamiento por lotes* se refiere a la selección de más de un pedido en un pase único por todo el *stock*. Esta práctica reduce, obviamente, el tiempo de trayecto, pero también incrementa la complicación de reensamblar los pedidos y los pedidos parciales para su envío. También puede incrementar el tiempo de surtido del pedido para cualquier pedido, a causa de que su terminación depende del número y tamaño de los otros pedidos del lote.

Elección del equipo de almacenamiento

El almacenamiento y el manejo de materiales tienen que considerarse en concordancia. De alguna forma, el almacenamiento es simplemente una parada temporal de los materiales que fluyen por todo un almacén. El almacenamiento ayuda a promover la total utilización del espacio y a mejorar la eficiencia en el manejo de los materiales.

Tal vez el auxiliar de almacenamiento más importante sea la estantería. Las estanterías son anaqueles, por lo regular de metal o madera, en las cuales se colocan los bienes. Cuando deben almacenarse una amplia variedad de artículos en pequeñas cantidades, apilar cargas una sobre la otra no es eficiente. Las estanterías promueven el apilamiento desde el suelo al techo, y los artículos en las alacenas superiores e inferiores son igualmente accesibles, aunque los artículos con una alta rotación deberían colocarse cerca del suelo para reducir el tiempo de servicio total en la estantería. Las estanterías también ayudan a rotar el *stock* como control de inventario del primero que entra es el primero que sale (PEPS).

Otro auxiliar disponible de almacenamiento incluye cajas para anaquel, materiales utilizados para sujetar la carga (separadores internos) horizontales y verticales, recipientes y bastidores o paneles en forma de U. Todos estos equipos ayudan en el almacenamiento y manejo ordenado de los productos que tienen formas irregulares.

Elección del equipo de movimiento

Hay disponible una enorme variedad de equipos mecánicos de carga y descarga, recolección de pedidos y traslado de bienes en el almacén. El equipo de movimiento se diferen-

cia por su grado de uso especializado y la cantidad de energía manual que se requiera para operarlo. Pueden distinguirse tres amplias categorías de equipos: equipo manual, equipo asistido con motor, y equipo totalmente mecanizado. En un sistema de manejo de materiales por lo general se halla una combinación de estas categorías, más que el uso exclusivo de una sola categoría.

Equipo manual

El equipo de manejo de materiales operado a mano (como la carretilla manual de dos ruedas, o patín) y la carretilla manual de cuatro ruedas tienen alguna ventaja mecánica en el traslado de los bienes y requiere sólo de una pequeña inversión. Aunque gran parte de este equipo puede usarse para una gran cantidad de bienes y bajo una gran cantidad de circunstancias, algunos de estos equipos están diseñados para uso especial, por ejemplo, manejo de tapetes o alfombras, mobiliario y ductos.

En general, la flexibilidad del equipo manual y el bajo costo lo convierten en una buena opción cuando la mezcla de productos en un almacén es dinámica, el volumen que fluye a través del almacén no es alto y no se desea invertir en equipo más mecanizado. Sin embargo, el uso de este equipo está algo limitado a las capacidades físicas del operador.

Equipo asistido con motor

El manejo de materiales puede acelerarse y el rendimiento de trabajador-hora incrementarse con el uso de equipo de manejo de materiales asistido con motor. Dicho equipo incluye grúas, camiones industriales, elevadores y montacargas; sin embargo, el caballo de batalla industrial es la carretilla elevadora y sus variaciones.

Por lo general, la carretilla elevadora o de horquillas es sólo una parte del sistema de manejo de materiales. Se combina con carga en tarimas y algunas veces con estanterías de tarimas. El equipamiento asistido con motor permite un apilamiento alto de carga (más de 12 pies) y movimientos de carga de gran tamaño. La carretilla elevadora más común tiene la capacidad de elevar casi 3,000 libras. El uso de carretilla elevadora, tarimas y estanterías en la distribución modificada del espacio del almacén se muestra en la figura 11-8.

El sistema de manejo de materiales con tarimas y carretillas elevadoras tiene alta flexibilidad. La tarima permite trasladar una serie de bienes con equipo de manejo estándar. No es probable que todo el sistema llegue a ser obsoleto o que requiera costosas modificaciones cuando cambien los requerimientos de almacenamiento. Además, dado que sólo se requiere una modesta inversión, el sistema es popular.

Equipo totalmente mecanizado

Con equipos de manejo controlados por computadora, la tecnología de código de barras y de escáner se han desarrollado algunos sistemas de manejo de materiales que se acercan a la automatización total. A dichos sistemas nos referimos como *sistemas automatizados de almacenamiento y recuperación*, o SA/AR. De todas las alternativas de manejo de materiales, éstas representan la aplicación más amplia de la tecnología.

Aplicaciones

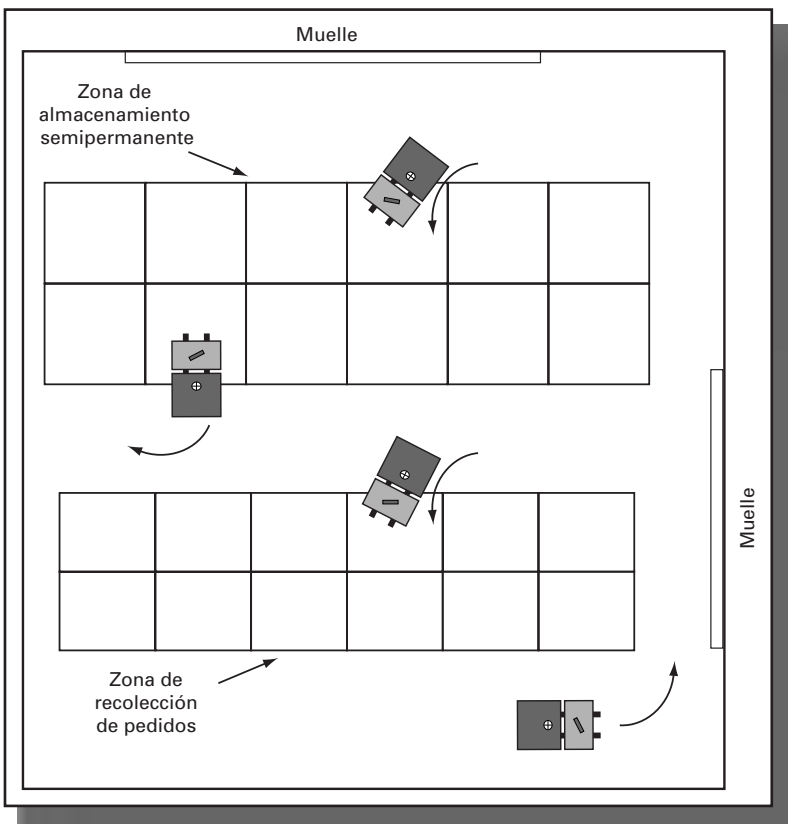
- En el momento cumbre de los vales de propaganda (de los que se pueden canjear por mercancías), la enorme S&H Green Stamp Distribution Center, en Hillsdale, Illinois, atendía a más de 150 centros de reembolso (o canje) de vales, almacenaba 2,000

artículos de 700 proveedores, y procesaba más de 16,000 cajas durante un único turno de 7 1/2 horas. Se usaba un sistema computarizado de bandas transportadoras para trasladar los bienes desde las zonas de recolección, vigilar el flujo de pedidos por todo el sistema de las bandas y controlar la acumulación de pedidos en el muelle.

- El sistema de manejo en la Rohr Corporation, que maneja 90,000 piezas de aeronaves, representa un paso más cercano al sistema de almacenamiento y recuperación totalmente automatizado. Con excepción de las zonas de recepción y expedición y el área auditada para el trabajo rutinario y comprobación de carga, las cargas de entrada se mueven, vía bandas transportadoras, hasta las estanterías de almacenamiento, se almacenan en dichas estanterías con grúas automatizadas y se recuperan con el proceso contrario. Un diagrama esquemático de este sistema se muestra en la figura 11-9.

Las historias de manejo de materiales de alta tecnología pueden estimular la imaginación, pero un SA/AR no es siempre una buena alternativa para la mayor parte de las operaciones de los almacenes. A menos que fluya un volumen constante y sustancial a

Figura 11-8 Sistema de manejo de materiales en tarimas, estantería y carretillas elevadoras en un área modificada de distribución del espacio de un almacén.



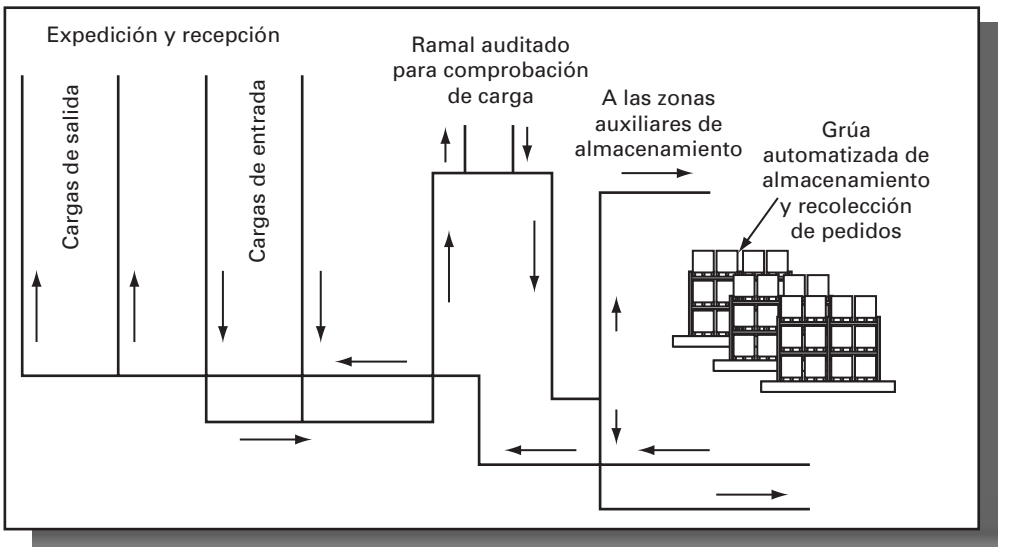


Figura 11-9 Esquema de un almacén automatizado.

través de un almacén, es difícil justificar la gran inversión requerida para tales sistemas. Además, tienen los siguientes inconvenientes: inflexibilidad en términos de una futura mezcla y volumen de productos, y en términos de ubicación del almacén, y fallos mecánicos que pueden apagar todo el sistema. Sin embargo, si se dan las circunstancias favorables para su desarrollo, un almacén totalmente mecanizado ofrece más posibilidades para bajar los costos de operación, y para acelerar la recolección de pedidos, que cualquier otro tipo de sistema de manejo de materiales.

COSTOS Y TARIFAS DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO

Una compañía debe pagar costos por el sistema de almacenamiento, bien mediante tarifas que le cargue una empresa externa que le ofrezca tales servicios o bien mediante los costos internos generados por el sistema particular de manejo de materiales del almacén controlado por la compañía. Para dar una visión general de los diversos costos del sistema de almacenamiento, se anotan cuatro sistemas diferentes: almacenamiento público; almacenamiento arrendado con manejo manual; almacenamiento privado, con manejo de paletas y carretillas elevadoras y almacenamiento privado, con manejo automatizado. Cada uno representa un nivel diferente de costos fijos y variables, como se muestra en la figura 11-10. Observe que no es una lista exhaustiva de todas las combinaciones posibles de alternativas de espacio y de métodos de manejo.

Almacenamiento público

Con excepción de unos cuantos estados (por ejemplo, Washington y Minnesota), donde las tarifas de almacenes públicos pueden ser del conocimiento público, las tarifas de los almacenes son confidenciales y son un punto de negociación entre el almacenista y el

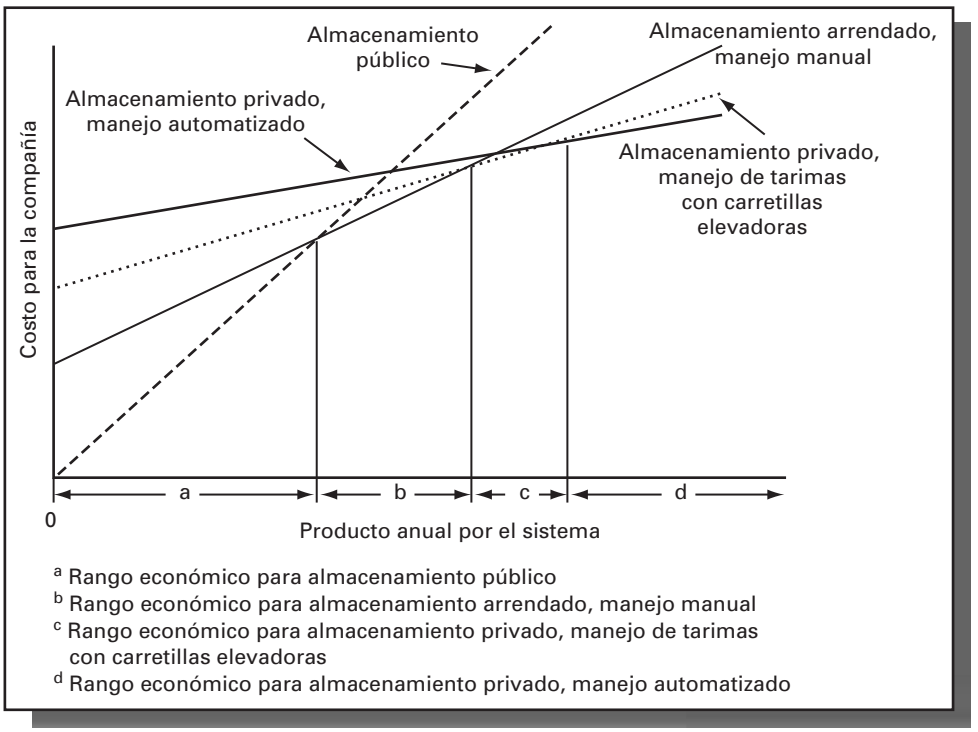


Figura 11-10 Curvas generalizadas de costo total para cuatro sistemas alternativos de almacenamiento.

cliente. La tarifa acordada dependerá de factores como volumen de los bienes que se van a manejar y guardar; el tiempo que se necesitará el espacio del almacén; el número de artículos separados en la mezcla de productos; cualquier requerimiento o restricción especial para el almacenamiento; el tamaño promedio del pedido de salida; y la cantidad de trabajo de mano de obra requerido.

Estos factores de costos por lo general se agrupan en tres categorías básicas: de almacenamiento, de manejo y suplementarios. Cada uno muestra diferentes características, y normalmente se cotizan tarifas separadas en las tres zonas. Específicamente, las tarifas de almacenamiento se cotizan a menudo en base mensual por quintal. La tarifa mensual refleja la dimensión del tiempo de almacenamiento. Por lo contrario, las tarifas de manejo normalmente son cotizadas por quintal. El número de veces que los bienes deben manejarse es la dimensión más importante de los costos de manejo. Los costos de personal se cargan al cliente en una base directa. Por ejemplo, los costos de preparación de las cartas de porte se cargan con base a la facturación.

Los almacenistas públicos pueden usar diversos métodos de tarifas de cotización:

1. Según el número de cajas, con un cargo por manejo de cada caja de entrada y salida.
2. Por el espacio actual que ocupa la mercancía, calculado, normalmente, según el número de pies cúbicos o pies cuadrados.
3. Por un acuerdo de arrendamiento por el espacio y un contrato por la función de manejo del personal del almacén.

En todos los casos, excepto en el método 3, el cliente es facturado mensualmente, a menos que se llegue a otros acuerdos.

El almacenamiento público es, para el cliente, un sistema de almacenamiento de todos los costos variables. Si una compañía genera un volumen de negocio sustancial y constante, el almacenamiento público puede llegar a ser más caro que el almacenamiento privado. La flexibilidad y un mejor servicio al cliente pueden ser razones para seleccionar un almacenamiento público, incluso si los costos de una alternativa son mayores.

Almacenamiento arrendado, manejo manual

Otro tipo de sistema de almacenamiento es combinar el espacio de almacenamiento arrendado con el manejo manual de materiales. Aunque el arrendamiento es un compromiso de largo plazo comparado con el almacenamiento público, los cargos por el espacio en los que se incurre son a intervalos regulares, por lo que el espacio arrendado puede tratarse como un costo variable para un rendimiento de un almacén dado. El equipo de manejo requiere una modesta inversión (si el equipo es propiedad de la compañía), que debe amortizarse con el tiempo. Los costos de mano de obra tienden a ser sustanciales para este sistema, lo cual le da un fuerte componente de costo variable a la curva del costo total del sistema de almacenamiento (figura 11-10).

Almacenamiento privado, manejo de tarimas y de carretilla elevadora/montacargas

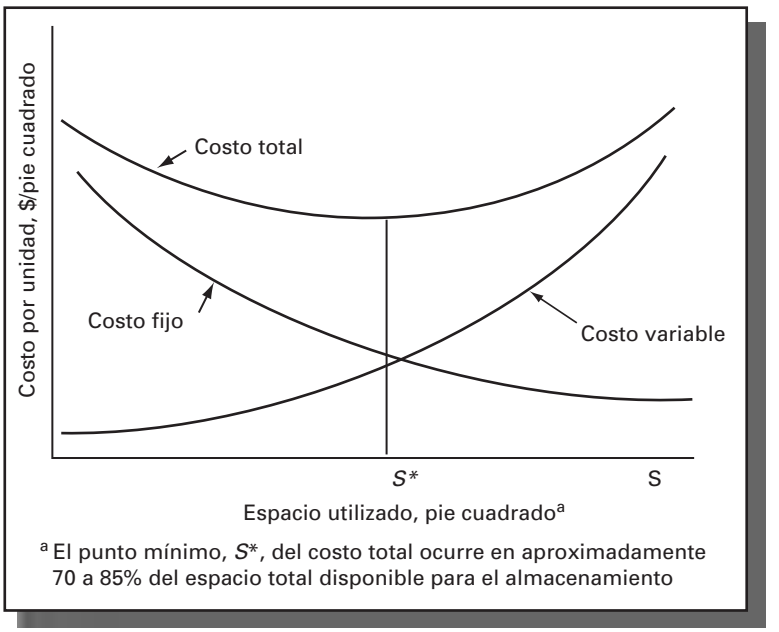
Esta es una alternativa comúnmente elegida para el almacenamiento público. Todos los costos de este sistema son costos internos de la compañía, sostenidos porque el equipamiento de manejo no es arrendado o rentado. Poseer tanto el almacén como el equipo introduce un nivel sustancial de costo fijo en la curva total de costos, como se muestra en la figura 11-10. Los altos niveles de mecanización del manejo y los bajos costos directos para operar un almacén privado significan bajos costos variables. Si embargo, es necesario un volumen sustancial antes de que esta alternativa llegue a ser económicamente viable, si lo comparamos con las alternativas previamente anotadas.

El patrón de puntos de salida de un almacén privado (o arrendado) es importante para valorar los costos del sistema de almacenamiento. Las variaciones estacionales en el uso del almacén provocan que la capacidad esté sobreutilizada e infrautilizada. Durante periodos de baja utilización, hay capacidad desocupada e indivisibilidad de algunas unidades de mano de obra que crean altos costos variables. Por lo contrario, ejercitar al máximo los límites de la capacidad del almacén otra vez causa altos costos variables, ya que se incrementa la deficiencia en el manejo de materiales y el daño a los bienes almacenados. (La curva típica de costo por unidad de almacén privado se muestra en la figura 11-11). Por lo tanto, el nivel de costos asociado con esta alternativa depende de qué tan utilizado esté el almacén y de las diseconomías causadas por el rendimiento fluctuante del almacén.

Almacenamiento privado, manejo automatizado

En términos de costos, el almacén privado, con sistema de almacenamiento de manejo automatizado, es un caso limitativo de las otras alternativas mencionadas. Representa un alto nivel de inversión fija en el almacén y el equipamiento de manejo automatizado (como bandas transportadoras y grúas controladas por computadora) y un bajo nivel de costos variables, ya que el sistema requiere poca mano de obra, luz, calor y similares. Como

Figura 11-11
Curvas típicas de costo por unidad para un sistema de almacenamiento de propiedad privada, usando manejo automático.



muestra la figura 11-10, a niveles muy altos de rendimiento del almacén, el almacenamiento privado con manejo automatizado tiene la posibilidad de ser el sistema de almacenamiento de menor costo por unidad de salida.

Más allá de comparar simplemente un sistema de almacenamiento con otro, para un mayor análisis y control es útil separar los costos totales en los tres componentes básicos del costo de un sistema de almacenamiento: de almacenamiento, de manejo y de personal. Para el almacén público, estos costos suministran la base para establecer las tarifas y hacer una comparación fácil con la alternativa de almacenamiento público. En el almacén privado, son valiosos para controlar los diversos gastos. La asignación de los diversos costos en los que se incurre durante la operación del almacén requiere un buena cantidad de sentido común. Una asignación de ese tipo se ilustra en la tabla 11-2. Una vez que se identifican los costos totales de almacenamiento, manejo y personal, pueden expresarse en base a quintales, a pies cuadrados, o a cualquier otra dimensión útil.

ALMACENAMIENTO VIRTUAL

Una extensión del concepto de inventario virtual es el almacén virtual. Considerando que los inventarios virtuales satisfacen los requisitos de los clientes a partir de inventarios alternativos en el sistema logístico de una compañía, un almacén virtual es uno donde no todos los artículos para la venta están guardados en el almacén de una compañía. Más bien, los artículos seleccionados se envían directamente a los clientes desde los inventarios del proveedor, sin ninguna intención por parte de la compañía de almacenarlos. Algunos de los artículos que estén agotados en el almacén pueden ser manejados de manera similar. Consideremos una compañía como Amazon, que almacena un alto volumen de títulos de libros en su propio almacén, pero que prácticamente no puede almacenar tí-

Tabla 11-2 Asignación de un grupo de artículos costosos de almacén en las categorías de costos del sistema básico de almacenamiento

Código de cuenta	Nombre de cuenta	Total	Almace-namiento	Manejo	Personal	G & A[b]
1	Renta	$16,281	$13,980	$1,345	$ 506	$ 450
2	Impuestos–nómina de pago[a]	2,390[a]	63[a]	1,187[a]	810[a]	330[a]
3	Impuestos–de autopistas	10		7	3	
4	Impuestos–bienes inmuebles	2,259	1,852	313	94	
5	Impuestos–franquicia	775	275			500[a]
6	Mantenimiento–edificio	225	25		200	
7	Mantenimiento–elevador	50	50			
8	Mantenimiento–herramientas y equipo	185	70	115		
9	Mantenimiento–mobiliario	60			50	10
10	Mantenimiento–aire acondicionado	1,500	1,400	50	50	
11	Utilidades (servicios públicos)	950	380	190	380	
12	Segs. —responsabilidad, riesgo[a]	222[a]	4[a]	75[a]	101[a]	42[a]
13	Segs. —comp. de los trabajadores[a]	691[a]	35[a]	652[a]	3[a]	1[a]
14	Seguros —otros	80	25	26	29	
15	Seguros —grupo	847[a]	24[a]	434[a]	262[a]	127[a]
16	Mano de obra[a]	34,170[a]	1,200[a]	23,550[a]	9,420[a]	
17	Salarios	6,500				6,500
18	Cuotas y suscripciones	150				150
19	Equipo de motor	500				500
20	Demoras o estadías	110	110			
21	Donaciones	25				25
22	Legales y contabilidad	100				100
23	Pérdidas y daños	700	10	690		
24	Misceláneas	573	33	4		536
25	Material de empaque	295		295		
26	Franqueos, portes de correo	175		25		150
27	Cuentas incobrables	210				210
28	Arts. de escritorio —suministros	350			350	
29	Teléfono	1,125				1,125
30	Subcontratos	500	500			
31	Renta de equipos	175		175		
32	Viajes	800				800
33	Intercambio de equipos		200	(200)		
34	Gasolina y aceite	400		300	100	
35	Amortización —gastos de organización	500				500
36	Llantas	30		30		
37	Gastos de depreciación	4,857	507	4,209	141	

Tabla 11-2 (*cont.*)

Código de cuenta	Nombre de cuenta	Total	Almacenamiento	Manejo	Personal	G & A[b]
38	Garaje	500		500		
39	Subtotales	79,270	20,743	33,972	12,499	12,056
40	Gastos G&A prorrateados		3,721	6,093	2,242	(12,056)
41	Gasto total	$79,270	$24,464	$40,065	$14,741	

[a] Denota gastos de mano de obra y sus relacionados.
[b] Gastos generales y de administración.
Fuente: Howard Way y Edward W. Smykay, "Warehouse Cost Analysis", *Transportation & Distribution Management*, Vol. 4 (julio de 1964), pág. 32.

tulos raros y de bajo volumen. Alternativamente, el manejo se contrata a terceras partes o los envíos se hacen directo desde los vendedores. El resultado es que se necesita menos inversión en la infraestructura logística, a la vez que se mantienen los altos niveles de servicio al cliente.

Dado que la intención no es almacenar todos los productos que se van a vender, se pueden manejar los pedidos de los clientes de la siguiente manera: Supongamos que un pedido contiene siete artículos. El sistema de administración de pedidos (SAP) de la compañía identifica que dos de los artículos están en el almacén y envía los artículos requeridos al sistema de administración de almacén (SAA) de la compañía para ser recogidos, empaquetados y enviados desde el almacén que la compañía posee y opera. Las requisiciones de los artículos restantes se envían a los vendedores que mantienen los inventarios físicos de los artículos. Cada vendedor del SAP transfiere la requisición del pedido a su SAA para su procesamiento.

Una clave para usar el concepto de almacenamiento virtual de manera efectiva es compartir la información crítica con los distribuidores. El vendedor comparte información con los distribuidores de lo que está en tránsito, lo que está en el almacén, y lo que está en el pedido. El distribuidor, a cambio, comparte agendas de producción y su propio estado del inventario. Esta visión instantánea de la disponibilidad del producto, a menudo con comunicación mediante la página web, permite una rápida respuesta a la demanda del cliente y minimiza la inversión de capital en el inventario y en los almacenes.

Ejemplo

Land's End mantiene sus almacenes bien surtidos, pero el minorista del catálogo también depende de los distribuidores que envían directamente a los clientes. También como minorista de Internet, Land's End usa un proceso de administración de la demanda para distribuir los pronósticos a los proveedores en base regular. Los proveedores comparten su proceso de producción con Land's End, el cual, a cambio, analiza la información para conseguir fechas de disponibilidad para los clientes. Land's End llama a este proceso de control de inventarios *manejo neto de posición*.[6]

[6] Helen L. Richardson, "Virtually Connected", *Trasportation & Distribution* (marzo de 2000), págs. 39-44.

Comentarios finales

Este capítulo otorga una breve visión general del sistema de almacenamiento y manejo en una red de cadena de suministros. Los comentarios se dirigen hacia los tipos de sistemas disponibles, las funciones que desempeñan y sus ventajas inherentes. Las alternativas de almacenamiento y manejo también se discuten paralelamente a sus costos asociados. Este es el medio ambiente del sistema de almacenamiento y manejo. La toma de decisiones logísticas gira sobre esta información para generar razonables cursos de acción.

Preguntas

1. ¿Por qué el encargado de la logística considera el sistema de almacenamiento como una conveniencia económica más que una necesidad?
2. ¿Por qué el sistema de almacenamiento es un problema del sistema de logística a nivel micro? Compare el sistema de almacenamiento con la red del sistema logístico de la figura 2-4.
3. Compare la propiedad privada del espacio de almacenamiento con el espacio de almacenamiento rentado, referente a lo siguiente:
   a. Servicios que pueden realizarse de cada uno
   b. Costo por almacenamiento
   c. Grado de control administrativo
   d. Flexibilidad en satisfacer incertidumbres futuras

   ¿Bajo qué circunstancias generales es el almacenamiento privado una mejor opción que el almacenamiento público?
4. ¿En qué sentido es el almacenamiento en tránsito una alternativa del almacenamiento convencional?
5. ¿Qué beneficios ofrece el uso de contenedores sobre las formas convencionales de agrupamiento de carga? ¿Por qué no está más extendido su uso?
6. Para las siguientes situaciones, indique si corresponde una distribución del espacio de zona o de zona modificada:
   a. Un centro de distribución de alimentos
   b. Un almacén de muebles
   c. Almacenamiento de aparatos mayores
   d. Almacenamiento de los productos de una compañía de acero
   e. Un centro de distribución de medicinas y artículos varios
7. Explique y defina lo siguiente:
   a. Emplazamiento de existencias
   b. Certificado de depósito negociable
   c. Informe E,C&D
   d. Uso de contenedores
   e. Agrupamiento de carga
   f. Depósito afianzado
   g. Almacenamiento de campo
   h. Entarimado
   i. Sistemas automatizados de almacenamiento y recuperación
   j. Recolección de pedidos
   k. Almacenamiento en tránsito
   l. Carga fraccionada
   m. Zonificación

8. ¿Cómo contribuye el almacenamiento al valor de tiempo de los bienes? Explique su repuesta.
9. ¿Cómo puede un sistema de manejo de materiales salvar las desventajas del tamaño, configuración y forma de un espacio de almacenamiento?
10. Explique lo que un encargado de la logística debería saber sobre el sistema de almacenamiento y manejo de materiales.
11. ¿Qué es el almacenamiento virtual? ¿Cuándo es probable que se use? ¿Qué se requiere para su buen funcionamiento?

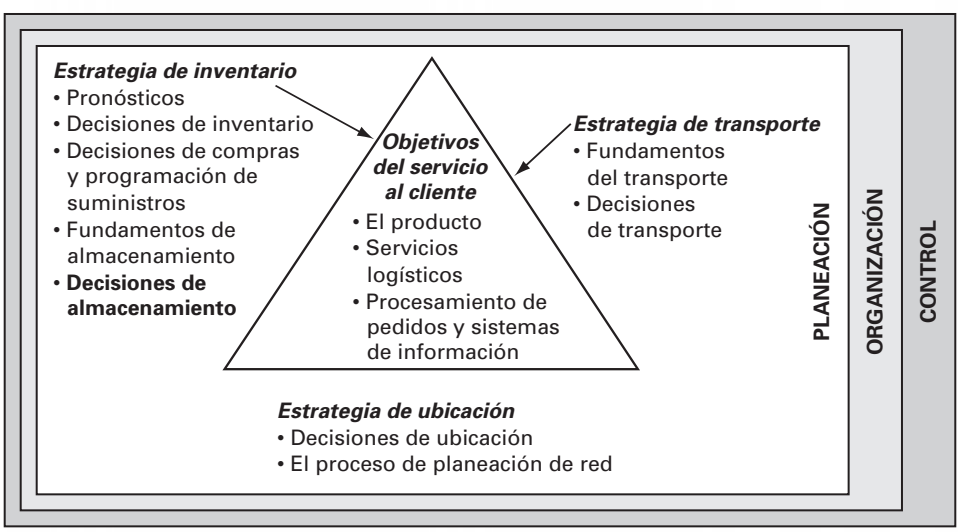
Capítulo 12

Decisiones sobre almacenamiento y manejo

La perfección no es alcanzable, pero si buscamos la perfección, adquirimos la excelencia.

—VINCE LOMBARDI

El responsable de la logística con frecuencia se ve involucrado en actividades suplementarias de las actividades primarias de desplazamiento y almacenamiento de una empresa. El almacenamiento y el manejo son actividades de ese tipo, las cuales pueden llegar a ser muy importantes, ya que afectan el tiempo que toma procesar los pedidos de los



clientes dentro del canal de distribución, o tener disponibles los suministros dentro del canal de suministros. Son actividades absorbentes de costos y merecen cuidadoso manejo.

Aunque el almacenamiento y el manejo no juegan el mismo papel en todos los sistemas logísticos, este capítulo se enfoca en estas actividades en cuanto al lugar que toman dentro de los almacenes y otras ubicaciones donde se mantienen inventarios. El almacenamiento presenta el rango completo de decisiones de almacenamiento y manejo que se incluyen en los distintos sistemas logísticos.

La importancia de las actividades de almacenamiento ya se había documentado. Como se muestra en la tabla 1-3, las actividades de almacenamiento y manejo de materiales son responsables de prácticamente una cuarta parte de los gastos de logística, sin incluir el costo de manejo de inventarios. De este gasto, cerca de la mitad es mano de obra, una cuarta parte es el espacio físico y el resto es la energía consumida, equipo, materiales y otros. El descuido de no administrar efectivamente estas actividades puede dar por resultado ineficiencias que sobrepasen las ganancias de una buena administración en actividades clave como transportación, mantenimiento de inventarios y flujo de información. Muchas actividades de almacenamiento y manejo son repetitivas, por lo que una cuidadosa administración puede generar sustanciales economías y mejoras del servicio al cliente en el tiempo.

Buscamos considerar los problemas de planeación para el diseño y la operación de los puntos nodales dentro de la red logística. Los puntos nodales con frecuencia están representados mediante almacenes. Sin embargo, también se pueden referir a acumulaciones de inventario, en cualquier forma que puedan éstas asumir, ya sea contenidas en exteriores, en el subsuelo o dentro de resguardos parcialmente protectores. Ya que el almacenamiento es una forma compleja de resguardo ampliamente utilizada, el principal énfasis estará en el diseño de almacén y en su operación, con implicaciones para otros métodos de almacenamiento y manejo. Este capítulo en especial trata de la planeación para el diseño de instalaciones, el cual incluye dimensionar las instalaciones, tipo financiero, configuración, disposición del espacio, diseño de la dársena o andén, selección del sistema de manejo de materiales y distribución de las existencias. En el capítulo 11 se presentó una visión general de las actividades de almacenamiento y manejo, y este capítulo continúa tratando con muchas de las decisiones relacionadas.

Selección del sitio

Antes de que avance el análisis de las decisiones detalladas sobre el diseño y operación del almacén, es necesario resolver la ubicación que tendrá el almacén. El capítulo 13 presenta varios modelos matemáticos que ofrecen una aproximación general de la ubicación final en términos de una región, área metropolitana o ciudad. Dentro del área definida, debe seleccionarse el sitio específico. La selección del sitio se refiere a la porción específica de un bien raíz sobre el cual se ubicarán las instalaciones, y su metodología es más un arte que un proceso bien definido. Con frecuencia implica ponderar un número de factores tangibles e intangibles. A partir de una encuesta de los lectores de la revista *Transportation & Distribution*, los factores más importantes de selección del sitio para un centro de distribución se identificaron según si la empresa del miembro que contestó la encuesta

Factor	General	Fabricante	Detallista	Distribuidor
Acceso de transportación	1	1	2	1
Transportación saliente	2	2	3	5
Proximidad con el cliente	3	3	6	6
Disponibilidad de mano de obra	4	5	1	3
Costos de mano de obra	5	6	7	4
Transportación entrante	6	4	4	2
Ambiente sindical	7	7	5	9
Impuestos	8	8	10	7
Leyes/incentivos estatales	9	10	—	—
Costos de terrenos	10	—	8	8
Servicios públicos	—	—	9	10
Requerimientos JAT	—	9	—	—

Fuente: Les B. Artman y David A. Clancy, *Transportation & Distribution*, Vol. 31, Núm. 6 (junio de 1990), pág. 19.

Tabla 12-1 Factores de selección de sitio para centro de distribución por tipo de industria

participaba en operaciones de manufactura, venta al detalle o distribución.[1] Los factores y su calificación se muestran en la tabla 12-1.

Naturalmente, cuando un almacén ya existe, como en el caso de un almacén público o de una instalación que se rentará, la selección por lo general estará restringida a las instalaciones disponibles. Cuando la selección es entre varios almacenes públicos, la selección del sitio tiene que ver con tarifas y servicios que se proporcionan. Por otro lado, la selección de una instalación que se rentará implica muchos de los factores recién nombrados, pero las características físicas de los edificios que se rentarán actuarán también como restricciones sobre las operaciones de almacén.

La planeación de un almacén privado ofrece la máxima flexibilidad de diseño de todas las alternativas de almacenamiento. Por ello, el siguiente análisis de la planeación para el diseño y operación se dirige principalmente hacia el almacén operado en forma privada.

Planeación para diseño y operación

La planeación para diseño de la instalación se refiere a la toma de decisión a largo plazo necesaria para establecer la instalación para almacenamiento temporal del producto y para flujo de productos a través de instalaciones eficientes. Tales decisiones con frecuencia requieren una inversión sustancial de capital que compromete a la compañía con un diseño para muchos años. Sin embargo, una cuidadosa planeación de diseño puede significar años de operación eficiente de almacenamiento.

Dimensionamiento de la instalación

El tamaño tal vez sea el factor más importante en el diseño de una instalación de almacenamiento. Una vez que se determinó el tamaño del almacén, éste actuará como una restricción sobre las operaciones de almacén, que puede durar por 20 años o más. Aunque una disposición de instalación interna puede cambiarse con relativa facilidad, la altera-

[1] Les B. Artman y David A. Clancy, *Transportation & Distribution*, Vol. 31, Núm. 6 (junio de 1990), págs. 17-20.

ción del tamaño general es mucho menos probable que suceda. Aunque la instalación pueda ampliarse posteriormente o el espacio no utilizado pueda rentarse para otros usos, la calidad resultante del espacio podría no ser la ideal. En general, el resultado de una mala planeación de tamaño puede ocasionar mayores costos de manejo de materiales de lo necesario (en el caso de la construcción de menos espacio del necesario) u obligar a costos innecesarios de espacio sobre el sistema logístico (en el caso de la construcción de más espacio que el necesario).

Específicamente, ¿qué es el tamaño? El tamaño se refiere al contenido cúbico general del edificio (su longitud, amplitud y altura). La determinación del volumen de construcción necesario es una tarea complicada por los múltiples factores que afectan la decisión del tamaño. Factores como el tipo de materiales que utilizará el sistema de manejo, los requerimientos de pasillos, la configuración de la disposición del inventario, los requerimientos de dársenas, los códigos de construcción locales, el área de oficinas y la capacidad de procesamiento de producto influirán en la decisión final del tamaño del edificio. Un punto de inicio es el espacio mínimo requerido para dar cabida al inventario almacenado en el edificio en el tiempo. Los factores restantes influyen en el tamaño al añadirse al tamaño básico determinado por el inventario.

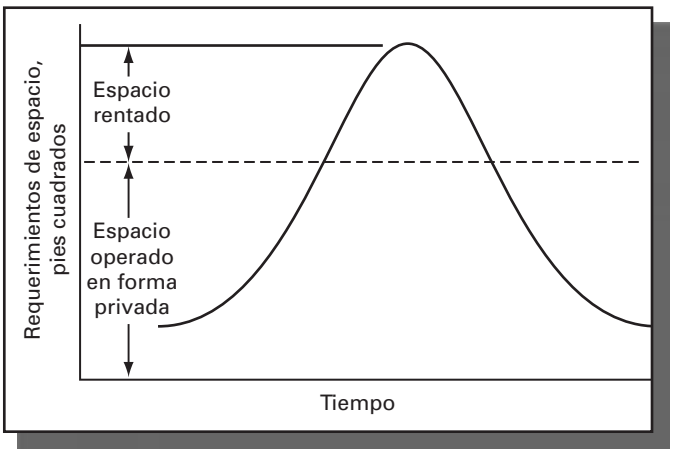
Ahora veamos el tamaño de almacén determinado por inventario bajo dos condiciones diferentes. La primera es cuando no existirán cambios importantes en la necesidad de espacio en el futuro razonable. No se espera una tendencia en las necesidades de espacio. Sin embargo, en el corto plazo existirán cambios estacionales en las necesidades de espacio a medida que las ventas a través del almacén y el reabastecimiento de inventario de almacén varíen durante el año. La segunda es cuando se prevé que los niveles de inventario promedio cambien durante un periodo de años. Este problema de dimensionamiento dinámico busca el mejor tamaño para el almacén en cada año del horizonte de planeación.

Antes de llevar a cabo un análisis detallado del dimensionamiento, una compañía por lo general ya habrá tomado la decisión de su ubicación general, aunque no necesariamente la decisión de selección de sitio. En el análisis de ubicación, es necesario asignar territorios de ventas a los almacenes. Esta asignación será la base para proyectar la capacidad de procesamiento de producto (demanda) de almacenamiento. Con esta capacidad de procesamiento y el índice de rotación de inventario del almacén, se podrá estimar la cantidad de inventario. Es posible realizar estimados aproximados del tamaño de almacén a partir de estas necesidades de inventario, y así, un análisis posterior iniciará con esta información preliminar.

Problema del dimensionamiento sin tendencia

Existen dos opciones básicas generales para el almacenamiento. La primera es rentar espacio, como de un almacén público o de una operación subcontratada. La segunda es operar espacio de almacenamiento propio o rentado. Dependiendo de cual sea la más económica, una compañía puede utilizar únicamente un tipo de éstas, suponiendo que existirá baja fluctuación en las necesidades de espacio con el tiempo. Sin embargo, cuando los requerimientos de espacio fluctúan ampliamente, existe la posibilidad de que una estrategia mixta sea lo mejor. Si el espacio operado de forma privada se dimensiona con los requerimientos pico de espacio, podría presentarse una importante subutilización de espacio durante una parte del año. Una mejor estrategia es un examen rápido de los requerimientos de espacio de manera que se obtenga un alto nivel de utilización, y hacer uso de espacio rentado sobre una base de corto plazo para cumplir con los requerimientos pico de espacio. Esta estrategia se ilustra en la figura 12-1.

Figura 12-1
Estrategia mixta de espacio de almacenamiento rentado o propio para requerimientos de espacio variables.



Encontrar la mejor estrategia mixta será cuestión de probar diferentes tamaños de espacio operado de forma privada y determinar el costo total asociado para cumplir todas las necesidades de espacio durante el año. El espacio operado de forma privada se caracteriza por una combinación de costos fijos y variables, mientras que el espacio rentado esencialmente es solo un costo variable para el usuario. Por ello, a medida que el espacio operado en forma privada se incrementa de tamaño, el costo combinado inicialmente caerá hasta el punto donde los costos fijos y la subutilización de espacio de almacenes progresivamente mayores ocasionen que los costos totales se incrementen. Buscamos el punto de costo mínimo.

Ejemplo

Douglas-Biehl, una pequeña compañía química, planea construir un almacén sobre la Costa Oeste. Las proyecciones de la demanda mensual promedio sobre los almacenes son las siguientes:

Mes	Demanda, lbs	Mes	Demanda, lbs
Ene.	66,500	Jul.	1,303,000
Feb.	328,000	Ago.	460,900
Mar.	1,048,500	Sep.	99,900
Abr.	2,141,000	Oct.	15,300
May.	2,820,000	Nov.	302,200
Jun.	2,395,000	Dic.	556,700
		Total	11,537,000

Se deberá mantener para el almacén un índice de rotación *mensual* de inventarios[2] de 3, o 36 rotaciones por año. Del espacio total de almacén, 50% se utilizará para pasillos y sólo

[2] Ventas mensuales divididas entre el inventario promedio.

70% se utilizará para anticipar variabilidad en los requerimientos de espacio. Una mezcla promedio de productos químicos ocupa 0.5 pies cúbicos de espacio por libra y pueden apilarse 16 pies sobre estantes.

El almacén, con equipo, puede construirse por $30 por pie cuadrado, amortizable a 20 años, y operado a $0.05 por libra de capacidad de producción. Los costos fijos anuales son $3 por pie cuadrado del espacio total. El espacio puede rentarse por un cargo de espacio de $0.10 por libra por mes y un cargo de manejo de entrada y salida de $0.07 por libra. ¿Qué tamaño de almacén deberá construirse?

Primero necesitamos desarrollar una tabla de requerimientos de espacio que muestre los requerimientos de espacio durante el año en pies cuadrados. Gracias al índice de rotación, sabemos que por cada 3 libras de químicos que se desplazan a través del almacén por mes, una libra se mantiene en inventario. Por cada libra almacenada se requieren 0.5/16 pies cuadrados de espacio. Debido a los pasillos, este requerimiento de espacio deberá duplicarse (1/0.50) y luego incrementarse por la tasa de utilización de espacio (1/0.70). Por ello, para convertir la demanda a requerimientos de espacio en pies cuadrados, tenemos

$$\begin{aligned}\text{Espacio (pies cuadrados)} &= \text{Demanda mensual (lbs)} \times (1/3)(0.5/16)(1/0.50)(1/0.70)\\ &= \text{Demanda mensual (lbs)} \times 0.029762\end{aligned}$$

En la tabla 12-2 se desarrolla el requerimiento de espacio.

A continuación seleccionamos un tamaño de almacén para prueba. Intentemos 60,000 pies cuadrados. Un almacén de este tamaño cuesta $30/pie cuadrado × 60,000 pies cuadrados = $1'800,000 para construirlo. Amortizando el costo de construcción a 20 años tendríamos un costo fijo anual de $90,000. Se desarrolla una tabla de costos de trabajo (tabla 12-3) para esta alternativa de tamaño de almacén. Al repetir estos mismos cálculos para distintos tamaños de almacén tendremos la información para desarrollar la curva de costo total anual que se muestra en la figura 12-2. El tamaño de almacén más económico es 60,000 pies cuadrados. Puede anticiparse que se necesitará especio rentado durante los meses de abril a junio, siendo mayo el mes pico, que requerirá suficiente espacio rentado para manejar (2'820,000 × 0.29)/3 = 272,600 libras de químicos.

Tabla 12-2 Requerimientos de espacio proyectados para el almacén de Douglas-Biehl de la Cosa Oeste

Mes	Demanda de almacén, lb	Requerimientos de espacio, pies cuad.	Mes	Demanda de almacén, lb	Requerimientos de, espacio, pies cuad.
Ene.	66,500	1,979[a]	Jul.	1,303,000	38,780
Feb.	328,000	9,762	Ago.	460,900	13,717
Mar.	1,048,500	31,205	Sep.	99,900	2,973
Abr.	2,141,000	63,720	Oct.	15,300	455
May.	2,820,000	83,929	Nov.	302,200	8,994
Jun.	2,395,000	71,280	Dic.	556,700	16,568
			Totales	11,537,000	343,362

[a] 66,500 × 0.029762 = 1,979

Tabla 12-3 Costos de una estrategia mixta de almacenamiento utilizando un almacén operado en forma privada de 60,000 pies cuadrados

			Operado de forma privada			Rentado			
Mes	Capacidad de procedimiento de almacén, lb	Requerimientos de espacio, pies cuad.	Distribución rentada	Costo fijo mensual	Costo variable mensual	Distribución rentada	Costo de almacenam. mensual	Costo de manejo mensual	Costo mensual
Ene.	66,500	1,979	100%	$22,500[a]	$ 3,325[b]	0%	$ 0	$ 0	$ 25,825
Feb.	328,000	9,762	100	22,500	16,400	0	0	0	38,900
Mar.	1,048,500	31,205	100	22,500	52,425	0	0	0	74,925
Abr.	2,141,000	63,720	94[c]	22,500	100,627[d]	6	4,282[e]	8,992[f]	136,401
May.	2,820,000	83,929	71	22,500	100,110	29	27,260	57,246	207,116
Jun.	2,395,000	71,280	84	22,500	100,590	16	12,773	26,824	162,687
Jul.	1,303,000	38,780	100	22,500	65,150	0	0	0	87,650
Ago.	460,900	13,717	100	22,500	23,045	0	0	0	45,545
Sep.	99,900	2,973	100	22,500	4,995	0	0	0	27,495
Oct.	15,300	455	100	22,500	765	0	0	0	23,265
Nov.	302,200	8,994	100	22,500	15,110	0	0	0	37,610
Dic.	556,700	16,568	100	22,500	27,835	0	0	0	50,335
Totales	11,537,000	343,362		$270,000	$510,377		$44,315	$93,062	$917,754

[a] [$90,000 + (3 × $60,000)]/12 = $22,500
[b] 66,500 × 0.05 = $3,325
[c] 60,000/63,720 = $0.94
[d] 2,141,000 × 0.94 × 0.05 = $100,627
[e] Dado un índice de rotación de inventario mensual de 3 y 6% de la demanda a través del almacén rentado, entonces [(2,141,000 × 0.06)/3] × $0.10 = $4,282
[f] 2,141,000 × 0.06 × 0.07 = $8,992

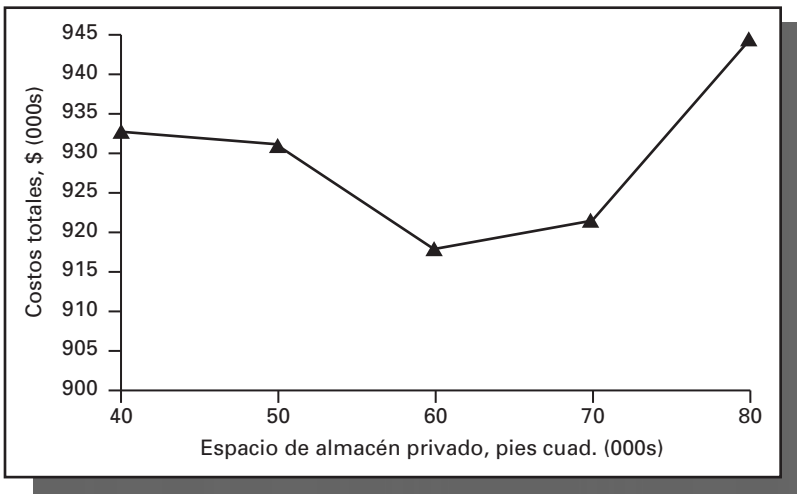


Figura 12-2
Costos anuales totales para la estrategia combinada de Douglas-Biehl de utilización de espacio de almacén rentado y operado en forma privada.

Dimensionamiento con tendencia

El dimensionamiento de almacén es un problema de planeación estratégica o de largo plazo. Cuando la tendencia en los requerimientos de espacio no es constante en el tiempo, como se asumió en el análisis de dimensionamiento sin tendencia, debemos estar preparados para tomar en cuenta los cambios fundamentales en los requerimientos de espacio en nuestro análisis. El problema ahora se vuelve dinámico, por lo que debemos considerar las preguntas adicionales de *cuándo* deberá modificarse el tamaño del almacén y *en cuánto* deberá hacerse. La determinación del mejor tamaño de almacén en todo momento requiere balancear los beneficios de contar con un tamaño particular con los costos de moverse a otro tamaño. Una metodología para este problema de dimensionamiento es muy similar al presentado par el problema de la ubicación dinámica del capítulo 13. Aquí no se presentará un mayor análisis de esta metodología.

Valoración del método de dimensionamiento

El método para determinar el espacio de almacenamiento, aunque en su mayor parte de naturaleza de prueba y error, presenta algunos beneficios importantes.

1. El método específicamente dirige la atención al problema de buscar el mejor tamaño de almacén operado en forma privada, en términos de una combinación de alternativas de mantener en propiedad y en renta, en lugar de proveer espacio en la forma de espacio operado de forma privada o espacio rentado exclusivamente.
2. Se consideran la variabilidad de los requerimientos de espacio debido a fluctuaciones estacionales en la oferta y la demanda, y la incertidumbre asociada con el pronóstico.
3. El tiempo y la magnitud de las necesidades de espacio de almacén están definidas y pueden planearse.
4. El tiempo y la magnitud de las necesidades de espacio privado están definidas por ahora, para permitir un tiempo de espera para la planeación, la construcción de los cambios de espacio, o ambos.

El método también tiene sus limitaciones. Las principales son las siguientes:

1. Los niveles de inventario se utilizan como el determinante primario de las necesidades de espacio. Los requerimientos de espacio para pasillos, plataformas de carga, áreas de andamios, y otras áreas de recepción de pedido se aproximan y se incorporan en el costo para un tamaño de almacén dado. No son específicamente tratados. Por ello, el tamaño sugerido podrá ser sólo un estimado del tamaño final que será construido.

2. En la misma forma que con todo modelo dinámico, se requieren pronósticos de largo plazo. Cualquier error en el plan, debido a pronósticos imprecisos, deberá ponderarse contra el enfoque alternativo de modificar el tamaño de almacén a medida que se observen los cambios en los requerimientos de espacio.

3. La selección de las alternativas de espacio que se analizarán estará basada en el juicio personal. Como tal, algunas combinaciones de tamaño podrán no ser exploradas por el análisis. Sin embargo, la mejora obtenida de alternativas adicionales de tamaño en el análisis puede ser menor.

Selección del tipo de espacio: consideraciones financieras

Aunque la fluctuación estacional en los requerimientos de espacio juega un papel en la determinación del tipo de espacio por utilizar, es igualmente importante reconocer que incluso cuando existe baja estacionalidad en las necesidades de espacio, existe la opción de rentar, arrendar o ser dueño del espacio. La selección entre estas opciones por lo regular está basada en una comparación financiera. Ya que el horizonte de tiempo de la decisión puede ser largo, quizá de 20 años, el valor del dinero en el tiempo puede ser importante en el proceso de selección. Es decir, deseamos comprar el valor presente neto del dinero de acuerdo con

$$PV = \text{Pago de arrendamiento} \times \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \qquad \textbf{(12-1)}$$

donde

VPN = valor presente neto en el tiempo 0
I = inversión inicial, o desembolso de efectivo, en el tiempo 0
j = periodo de tiempo en el horizonte de planeación entre *0* y n
n = el periodo de tiempo al final del horizonte de planeación
C_j = la diferencia de flujo de efectivo (desembolso de efectivo) entre alternativas en el periodo de tiempo j
i = tasa de descuento, o tasa de superación, se espera que inversiones similares den rendimientos
S_n = valor de rescate o recuperación del activo en el periodo n

Un *VPN* positivo estimula la inversión, en tanto que un *VPN* negativo la desalienta. En forma alternativa, el *VPN* se puede fijar en 0 y obtener *i*. Esta será la tasa interna de rendimiento *(TIR),* la cual puede compararse con la tase mínima de la compañía. Si la *TIR* excede a la tasa mínima, se recomienda la inversión.

La fórmula del valor presente [ecuación (12-1)] es general y puede manipularse de varias formas y ser aplicada a un amplio rango de problemas financieros. Aquí sólo se ilustrará un ejemplo.

Aplicación[3]

Las instalaciones de almacén de una compañía han alcanzado su capacidad en la región del Atlántico medio. Actualmente, la empresa posee y opera dos instalaciones en el área y utiliza aproximadamente 150,000 pies cuadrados de espacio externo de almacenamiento público. La presión más urgente es el desbordamiento de almacenamiento, el cual es actualmente manejado por un almacén público. Se espera que los requerimientos de desbordamiento crezcan sustancialmente en los siguientes años.

Se estima que se requerirá un aproximado de 210,000 pies cuadrados de espacio. Las alternativas se han reducido a las siguientes: 1) utilizar almacenamiento público o 2) arrendar 210,000 pies cuadrados por cinco años a $2.75 por pie cuadrado por año con una opción de renovación a cinco años. Los impuestos federales de compañías se encuentran en 39% por año.

Para espacio de este tamaño, los cargos por almacenamiento público anuales se espera que sean

Cargos por manejo	$ 760,723
Cargos por almacenamiento	413,231
Cargos totales anuales	$1,173,954

Existen varias categorías de cargos para el almacén arrendado.

1 Los gastos de operación anuales estimados son $309,914.

2. El pago de arrendamiento anual es de $577,500. De acuerdo con una filosofía de analistas financieros, el arrendamiento deberá capitalizarse; es decir, deberá tratarse como una deuda o un activo fijo. La compañía tiene un costo de capital después de impuestos de 10 por ciento. Al descontar diez pagos iguales de arrendamiento al presente a una tasa de descuento de 10 por ciento tenemos $3,548,500. Es decir,

$$
\begin{aligned}
PV &= \text{Pago de arrendamiento} \times \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \\
&= 577{,}500 \times \frac{(1+0.10)^{10} - 1}{0.10(1+0.10)^{10}} \\
&= 577{,}500 \times 6.1446 \\
&= \$3{,}548{,}500
\end{aligned}
$$

3. Otros activos fijos y cargos únicos para la instalación arrendada:

Equipo de manejo	$170,800
Sistemas de cómputo	26,740
Estantes	252,000
Subtotal	$449,540
Costos de arranque	10,500
Desembolso total de efectivo inicial	$460,040

4 Ya que todo el equipo se consumirá en diez años, no existe valor de rescate. El arrendamiento no tiene valor de rescate.

[3] Basado en el ejemplo presentado en Thomas W. Speh y James A. Blomquist, *The Financial Evaluation of Warehousing Options: An Examination of Contemporary Practices* (Oxford, OH: The Warehousing Research Center, filial de Warehousing Education and Research Council, 1988), págs. 26-28.

La diferencia de flujo de efectivo anual entre un almacén público y un almacén arrendado es de $1,173,954 – $309,914 = $860,040, lo cual denominaremos *ahorro* (es decir, $-C_j$) para mantener la convención de la ecuación (12-1). Debido a los impuestos, debemos considerar la depreciación sobre los activos. El programa de depreciación sobre el desembolso inicial de $460,040 es

Año	Depreciación	Año	Depreciación
1	$136,000	6	$25,000
2	109,000	7	21,000
3	71,000	8	3,000
4	50,000	9	0
5	45,000	10	0

Para determinar el flujo de efectivo después de impuestos, considere el efecto de los impuestos para el primer año:

Ahorros	$ 864,040
Depreciación	–136,000
Utilidad neta (antes de impuestos)	$ 728,040
Impuestos federales (39%)	–283,936
Utilidad neta (después de impuestos)	$ 444,104
Depreciación	+136,000
Flujo de efectivo después de impuestos	$ 580,104

Se pueden realizar cálculos similares de flujo de efectivo para cada año (ver tabla 12-4).

Ahora podremos calcular el valor presente de la serie de flujo de efectivo después de impuestos. Recordando que la tasa mínima después de impuestos es 10 por ciento y la fórmula de descuento es $1/(1 + i)^j$, podemos calcular la siguiente serie de flujos de efectivo descontados:

Año	(1) Flujo de efectivo neto después de impuestos	(2) Factor de descuento $1/(1 + 0.1)^j$	(3) = (1)(2) Flujo de efectivo neto descontado
0	($4009)		($4009)
1	580	0.9091	527
2	570	0.8264	471
3	555	0.7513	417
4	547	0.6830	374
5	545	0.6209	338
6	537	0.5645	303
7	535	0.5132	275
8	528	0.4665	246
9	527	0.4241	224
10	527	0.3855	203
		VPN =	($ 631)

El valor presente neto es $631,000 *negativos*, lo que significa que la tasa mínima de 10% después de impuestos no podrá obtenerse con un almacén rentado. Deberá utilizarse almacenamiento público.

Tabla 12-4 Serie de flujos de efectivo de diez años para comparación de almacén público contra almacén rentado

Año	Ahorros: renta contra público	Flujo de efectivo neto antes de impuestos	Programa de depreciación	Ahorros menos depreciación	Impuestos (39%)	Ahorros menos depreciación e impuestos	Ahorros menos impuestos	Flujo de efectivo neto después de impuestos
0	$ 0	($4,009)[a]	$ 0					($4,009)
1	864	864	136	$ 728	$ 284	$ 444	$ 580[b]	580
2	864	864	109	755	294	461	570	570
3	864	864	71	793	309	484	555	555
4	864	864	50	814	317	497	547	547
5	864	864	45	819	319	500	545	545
6	864	864	25	839	327	512	537	537
7	864	864	21	843	329	514	535	535
8	864	864	3	861	336	525	528	528
9	864	864	0	864	337	527	527	527
10	864	864	0	864	337	527	527	527
Total	$8,640	$4,631	$460	$8,180	$3,189	$4,991	$5,451	$1,442

[a] Arrendamiento capitalizado menos desembolso inicial de efectivo, i.e., $3,548,500 + $460,040 = $4,008,540
[b] Añadir depreciación hacia atrás, i.e., 444 + 136 = $580

Configuración de la instalación

Los almacenes tienen varias formas así como diversos tamaños. Puede construirse todo tamaño dado de almacén en múltiples combinaciones de longitud, amplitud y altura. Se asume ahora que el tamaño básico de almacén ya se ha establecido, y la siguiente pregunta será, ¿cuál es la mejor configuración para el almacén? Se hace una distinción entre los almacenes para almacenamiento y manejo general y aquellos que se utilizan como centros de consolidación o instalaciones de alto rendimiento.

Altura del techo

En el análisis anterior acerca de tamaño se asumió una altura útil de techo. La determinación de esta altura para una instalación de rendimiento medio dependerá de los costos de construcción, costos de manejo de materiales y características de apilado de carga de producto. Si buscáramos duplicar la altura del techo, duplicando por tanto el contenido cúbico, los costos de construcción no se duplicarían necesariamente. El techo y el piso permanecen iguales en ambos casos. Sin embargo, lo que balancea los costos de construcción son los costos adicionales de manejo de materiales debidos al mayor tiempo de servicio requerido para apilar y recoger cargas a una altura superior al promedio. Por último, las características de apilamiento de los bienes almacenados pueden influir sobre la altura deseada del techo. La estabilidad de los bienes apilados individualmente en columnas o en unidades de tarimas de carga puede fijar un límite superior a la altura. Naturalmente, la utilización de estantes de almacenamiento incrementa la utilización cúbica y supera las limitaciones de apilado de productos. Entonces, las limitaciones de altura pueden desplazarse de las características del producto a las características del equipo de manejo de almacenamiento y de materiales. Las reglas locales de construcción con respecto de la distancia sobre el suelo de los aspersores también pueden influir en la altura final del techo.

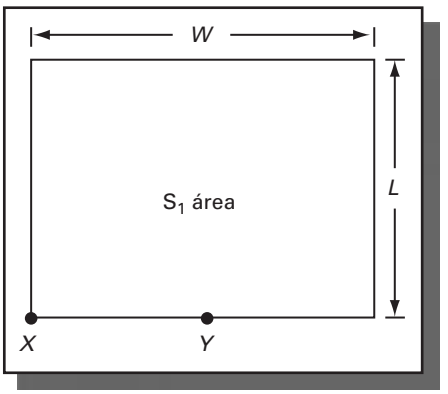
La elección de la altura del techo consiste en balancear los costos de construcción y equipo con los costos de manejo de materiales debido a restricciones legales, de producto y de equipo. Además, deberá existir un mínimo de espacio adicional entre los bienes y el techo útil del almacén. La altura adicional necesaria estará determinada a partir de un análisis de los requerimientos futuros imprecisos. En un almacén de mercancías generales, los productos por lo regular se apilan en estantes de unos 16 pies de altura con la altura del techo cercana a 20 pies. No existe limitación particular en la altura del techo para almacenes de depósito o para aquellos con sistemas automáticos de almacenamiento y recuperación. Las instalaciones de alto rendimiento, como los centros de consolidación o áreas de selección de pedidos, pueden limitar el apilado a uno o dos niveles con suficiente altura adicional para dar cabida a un sistema de protección de incendios.

Longitud versus *amplitud*

La longitud y la amplitud o configuración del edificio de almacenamiento deberán decidirse en relación con los costos de manejo de materiales de desplazamiento de productos a través del almacén y con los costos de construcción del almacén. Francis estudió el aspecto del diseño de la configuración en forma teórica.[4] Analizó la configuración con el punto de descarga de entrada y salida localizada en X y luego en Y, como se muestra en la figura 12-3. El almacén utiliza pasillos rectangulares, almacena n diferentes tipos de ar-

[4] Richard L. Francis, "On Some Problems of Rectangular Warehouse Design and Layout", *Journal of Industrial Engineering*, Vol. 18 (octubre de 1967), págs. 595-604.

Figura 12-3
Bosquejo de un almacén con amplitud W y longitud L y con posibles ubicaciones de dársenas en X y Y.



tículos, y cuenta con un área de piso de S. La amplitud óptima W^* y longitud óptima L^* se obtienen al balancear los costos de manejo de materiales contra los costos de perímetro de almacén. Los costos de perímetro se definen como los costos anuales de construcción y mantenimiento por pie de perímetro del almacén. Para la dársena localizada en X, Francis concluyó que suponiendo una selección de salida y regreso en una instalación de rendimiento medio, la amplitud optima W^* sería

$$W^* = \sqrt{\frac{C + 8k}{2C + 8k}}\sqrt{S} \tag{12-2}$$

y la longitud óptima L^* será

$$L^* = \frac{S}{W^*} \tag{12-3}$$

donde

C = la suma del costo total por pie para desplazar un artículo de un tipo dado hacia adentro o hacia afuera del almacenamiento, multiplicado por el número esperado de artículos de un tipo dado hacia adentro o hacia afuera del almacenamiento, por año ($/pie).
k = costo anual de perímetro por pie ($/pie).
S = área de piso requerida en el almacén (pies cuadrados).

Para la dársena al centro del almacén, en vez Y, la amplitud óptima sería

$$W^* = \sqrt{S} \tag{12-4}$$

y la longitud óptima es

$$L^* = \sqrt{S} \tag{12-5}$$

Es decir, el almacén se vuelve cuadrado en vez de rectangular. De estos dos casos limitantes, ubicar la dársena en el centro del almacén es lo más barato. Ubicar la plataforma en X tiene un costo total relevante TC_X de

$$TC_X = 2\sqrt{[(1/2)C + 2k][(1/4)C + 2k]}\sqrt{S} \tag{12-6}$$

El costo relevante TC_Y para ubicar la dársena en Y es

$$TC_Y = [(1/2)C + 4k]\sqrt{S} \qquad \textbf{(12-7)}$$

La diferencia $TC_X - TC_Y$ de es el costo incremental que debe de pagarse por ubicar la plataforma en X en lugar de ubicarla en Y.

Ejemplo

Un almacén de partes de repuesto operado en forma privada tiene un rendimiento mensual de 100,000 cajas y un costo de manejo de entrada y salida de materiales promedio de $0.005 por pie por caja desplazada. La selección de pedido requiere un viaje de ida y regreso a la dársena de salida para cada artículo solicitado. La superficie total en pies cuadrados necesaria para la operación es de 300,000. Construcción estima que un almacén de 500 × 600 pies cuadrados puede construirse por $90 por pie cuadrado. La vida efectiva del almacén es de 20 años. La plataforma de carga/descarga se ubicará cerca de una esquina del edificio propuesto. ¿Cuáles son las mejores dimensiones para el edificio y el costo relevante total?

Se requiere desarrollar el costo de perímetro anual. Existen 2(500) + 2(600) = 2,200 pies en el perímetro. El costo de construcción es de $90 × 300,000 = $27,000,000. De forma anualizada, es $27,000,000/20 = $1,350,000. Sobre una base de perímetro-pie, es $1,350,000/2,200 = $613.64/pie. Esto es k. C es 0.005 × 100,000 × 12 = $6000/pie

Para determinar la amplitud del almacén se aplica la ecuación (12-2). Es decir,

$$W^* = \sqrt{\frac{6{,}000 + 8(613.64)}{2(6{,}000) + 8(613.64)}}\sqrt{300{,}000}$$
$$= 440 \text{ pies}$$

y la longitud de acuerdo con la ecuación (12-3):

$$L^* = 300{,}000/440 = 682 \text{ pies}$$

El costo relevante para este almacén rectangular a partir de la ecuación (12-6) será

$$TC = 2\sqrt{[(1/2)6{,}000 + 2(613.64)][(1/4)6{,}000 + 2(613.64)]}\sqrt{300{,}000}$$
$$= 6{,}790.87(547.72)$$
$$= \$3'719{,}495 \text{ por año}$$

Debe observarse que estas fórmulas pudieran no ser válidas cuando se utiliza un sistema de manejo de materiales con transportadores automáticos, ya que éstos desacoplan la ubicación de la dársena y la configuración del almacén según el costo variable de manejo de materiales. Por ello, los sistemas de transportación automática pueden neutralizar las desventajas de múltiples pisos, forma en L, u otras configuraciones que se apartan del diseño teórico.

Jenkins amplió el análisis anterior al observar que cuando las plataformas de carga de ferrocarril y camión se encuentran centradas pero en extremos opuestos del edificio, la configuración más económica es la cuadrada.[5] Por otro lado, los costos de desplazamien-

[5] Creed H. Jenkins, *Complete Guide to Modern Warehouse Management* (Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 1990), págs. 104-107.

to pudieran no ser el principal determinante de las dimensiones del almacén.[6] En vez de ello, la longitud del almacén podría estar dictada por los requerimientos de plataforma de carga para ferrocarril o camión. La configuración larga y angosta de edificio de las terminales de camión LTL es un ejemplo. El número de camiones se detiene para el desplazamiento de la producción de entrada y de salida, y la longitud del apartadero necesario para influjo de producto eficiente necesitaría compararse con los resultados teóricos. La forma de determinar estas dimensiones de plataforma de carga se analiza en la sección sobre diseño de la dársena o andén.

La configuración de instalaciones de alto rendimiento, conocidas como centros de consolidación y terminales de transferencia, requieren un balance diferente de costos que para el almacén común. El centros de consolidación está limitado a la recepción y el envío, eliminando las actividades de almacenamiento y recepción de pedidos del almacén común. Su función es descargar bienes e inmediatamente transferirlos a otro camión, el cual se encuentra lo más cercano posible al punto de recepción para minimizar los gastos de manejo. Idealmente, esto significaría asignar una plataforma de envío directo desde la plataforma de recepción. Esto sugiere que el mejor diseño de edificio es un rectángulo largo y angosto, o en forma de I, suponiendo que no se utilizan transportadores automáticos para desplazar bienes alrededor del edificio.

No todos los productos recibidos en una plataforma particular se transfieren a la plataforma inmediatamente debido a la asignación de espacios de plataforma y a la descomposición de mercancía de entrada destinada a múltiples destinos. Desde el punto de vista del manejo de materiales, la configuración del edificio posee un *índice de centralidad*, el cual es la distancia promedio ponderada que todos los bienes se desplazan dentro del edificio. A medida que se incrementa el número de puertas, el índice de centralidad también se incrementa. Para reducir el índice, y por tanto el costo de manejo, se pueden emplear alternativas a la forma en I, como la forma en T, en L y en H. Aunque estas tres últimas formas reducen la centralidad, su configuración tiene la desventaja de perder algunos espacios de puerta para los trailers en las esquinas internas. Por esto, el balance básico que determina la configuración del edificio es aquel entre el costo de manejo de la carga y el costo de construir un edificio con el número de puertas necesario. Las investigaciones sugieren que la forma del edificio depende del número de puertas necesario.[7] La mejor forma para plataformas de cruce pequeñas a medianas es un rectángulo, o forma en I. A medida que el tamaño del edificio se incrementa de 150 a 250 puertas, la forma en T será mejor. Para edificios que exceden 250 puertas, la forma en H es la mejor.

Distribución del espacio

Una vez que se han tomado ciertas decisiones con respecto de la configuración general del almacén, la siguiente decisión es distribuir las bahías de almacenamiento, estantes y pasillos. El problema es determinar el número de espacios por colocar a lo largo de un estante, el número de estantes por utilizar y si éstos deberán colocarse en paralelo o perpendiculares al muro más largo. Para ayudar en esta decisión[8] se han desarrollado varias fórmulas y reglas de decisión, de las que se analizarán dos de diversas configuraciones.

[6] C. E. Hancock, H. F. Kraemer, "The Economic Sizing of Warehouses: A Comparision of Evaluation Models", trabajo presentado en la reunión nacional conjunta TIMS-ORSA, Minneapolis, 7-9 de octubre de 1964.
[7] John J. Bartholdi III y Kevin R. Gue, "The Best Shape for Crossdock", Documentos de trabajo.
[8] Joseph Bassan, Yaakov Roll y Meir J. Rosenblatt, "Internal Layout Design of a Warehouse", *AIIE Transactions*, Vol. 12, Núm. 4 (diciembre de 1980), págs. 317-322.

En la figura 12-4 se muestran dos posibles distribuciones de la estantería. El producto se recibe por una puerta en un extremo del edificio y se despacha por otra puerta en el extremo opuesto. Un artículo requiere cuatro desplazamientos entre una puerta y la ubicación de almacenamiento. Las puertas de descarga se localizan en el centro del edificio, y todas las partes del almacén tienen una probabilidad equivalente de ser utilizadas. La estantería es de dos caras, excepto para estantes contra una pared, los cuales sólo tienen una cara. El objetivo de la distribución de espacio es minimizar la suma de los costos de manejo de materiales, el costo de área de almacén y el costo anual asociado con el tamaño (perímetro) del edificio. La siguiente notación resulta útil:

w = amplitud de estante doble (pies)
L = longitud del espacio de almacenamiento; por ejemplo, amplitud de una tarima (pies)
m = número de espacios de almacenamiento a lo largo de un estante
h = número de niveles de almacenamiento en dirección vertical
n = número de estantes dobles; dos estantes simples se consideran como un estante doble
K = capacidad de almacén total en espacios de almacenamiento
a = amplitud de un pasillo (pies), donde se asume que todos los pasillos tienen la misma amplitud
u = longitud del almacén (pies)
v = amplitud del almacén (pies)
d = movimiento anual (demanda) del almacén, en unidades de almacenamiento (por ejemplo, tarimas de carga). Se asume que un artículo de almacenamiento ocupa una unidad de espacio (artículos/año)
C_h = costo de manejo de materiales de desplazar un artículo de almacenamiento una unidad de longitud ($/pie).
C_s = costo anual por unidad de área de almacenamiento (calefacción, luz, mantenimiento) ($/pie cuadrado)
C_p = costo anual por unidad de longitud de los muros exteriores ($/pie)

Para la distribución de espacio 1, que se muestra en la figura 12-4(a), el número óptimo de espacios de anaquel debería ser

$$m_1^* = \frac{1}{L}\sqrt{\left[\frac{dC_h + 2aC_s + 2C_p}{2(dC_h + C_p)}\right]\left[\frac{K(w+a)L}{2h}\right]} \qquad \textbf{(12-8)}$$

y el número óptimo de estantes dobles es

$$n_1^* = \frac{1}{w+a}\sqrt{\left[\frac{2(dC_h + C_p)}{dC_h + 2aC_s + 2C_p}\right]\left[\frac{K(w+a)L}{2h}\right]} \qquad \textbf{(12-9)}$$

La mejor configuración de almacén tendrá una longitud de

$$u_1 = n_1^*(w + a) \qquad \textbf{(12-10)}$$

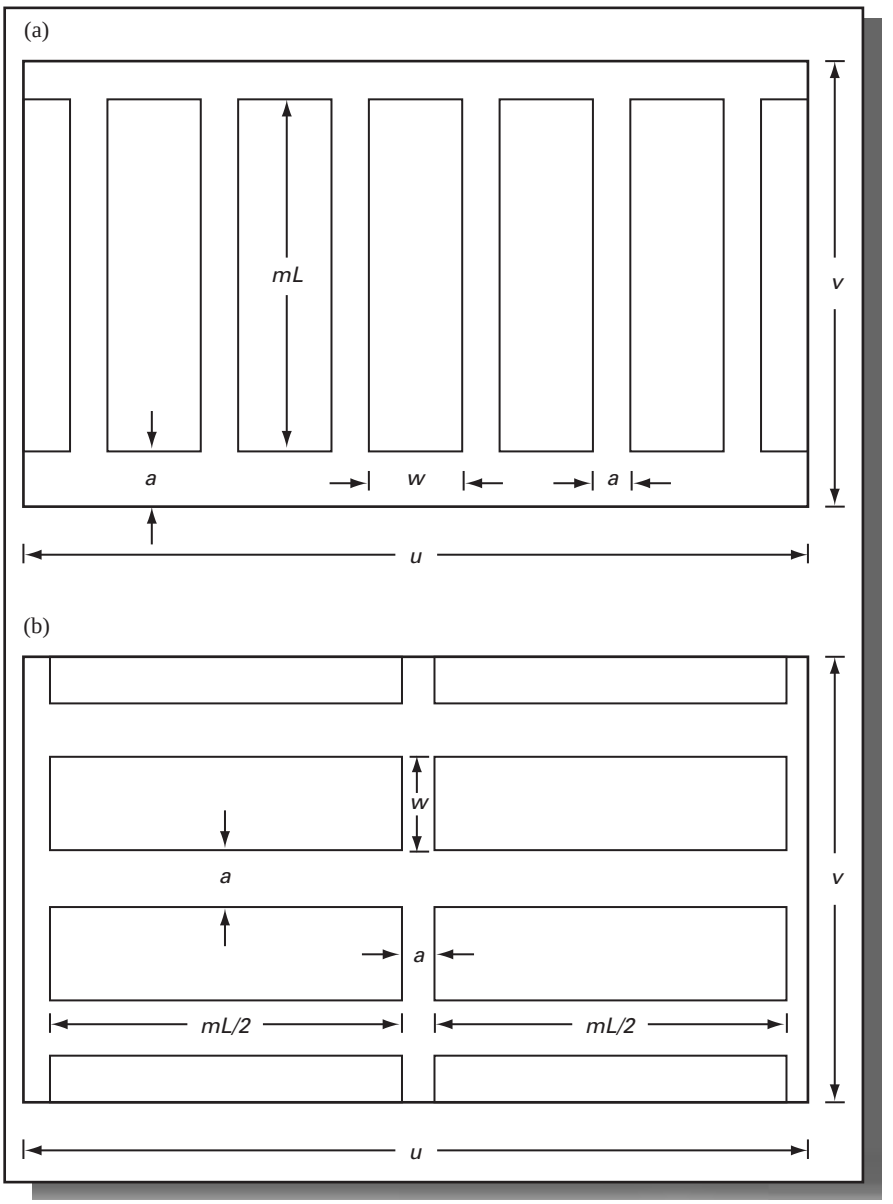
y una amplitud o ancho de

$$v_1 = 2a + m_1^* L \qquad \textbf{(12-11)}$$

Para la alternativa de distribución de espacio 2, que se muestra en la figura 12-4(b), los parámetros óptimos son

$$m_2^* = \frac{1}{L}\sqrt{\left[\frac{2dC_h + 3aC_s + 2C_p}{dC_h + 2C_p}\right]\left[\frac{K(w+a)L}{2h}\right]} \qquad \textbf{(12-12)}$$

Figura 12-4 Vista aérea de dos posibles distribuciones de espacio de anaquel dentro de una configuración de almacén rectangular.



y

$$n_2^* = \frac{1}{w+a}\sqrt{\left[\frac{dC_h + 2C_p}{2dC_h + 3aC_s + 2C_p}\right]\left[\frac{K(w+a)L}{2h}\right]} \quad \textbf{(12-13)}$$

donde

$$u_2 = 3a + m_2^* L \quad \textbf{(12-14)}$$

y

$$v_2 = n_2^* (w + a) \quad \textbf{(12-15)}$$

Para minimizar los costos entre estas dos opciones de distribución de espacio, se puede aplicar la siguiente regla de decisión: Si $d < C_p/C_h$, entonces se preferirá la distribución 1 sobre la 2. Si $d > 2C_p/C_h$, entonces se preferirá la distribución 2. Sin embargo si $C_p/C_h < d < 2C_p/C_h$, no puede sacarse una conclusión.

Ejemplo

Suponga que se configurará un almacén de acuerdo con la distribución de espacio de la figura 12-4(b). El edificio manejará una capacidad de 400,000 tarimas por año. Estas tarimas requieren espacio de almacenamiento de $4 \times 4 \times 4$ pies ($120 \times 120 \times 120$ cm), y pueden ser apiladas cuatro tarimas hacia arriba. Los estantes de tarimas consecutivos tienen 8 pies (240 cm) de ancho. Los pasillos son de 10 pies de ancho. El costo de manejo de materiales es de \$0.001 por pie, los costos anuales de espacio son de \$0.05 por pie cuadrado, y el costo anual por pie de muro de perímetro es de \$3. La rotación del almacén es de ocho veces por año con una capacidad total de almacén de 50,000 espacios. ¿De qué tamaño deberá planearse el edificio?

Primero, el número de espacios de almacenamiento para la bahía longitudinal, de acuerdo con la ecuación (12-12), debería ser

$$m^* = \frac{1}{4}\sqrt{\left[\frac{2(400{,}000)(0.001) + 3(10)(0.05) + 2(3.00)}{400{,}000(0.001) + 2(3.00)}\right]\left[\frac{50{,}000(8+10)(4)}{2(4)}\right]}$$
$$= 237 \text{ espacios}$$

El número de estantes de almacenamiento doble, de acuerdo con la ecuación (12-13), debería ser

$$n^* = \frac{1}{8+10}\sqrt{\left[\frac{400{,}000(0.001) + 2(3.00)}{2(400{,}000)(0.001) + 3(10)(0.05) + 2(3.00)}\right]\left[\frac{50{,}000(8+10)(4)}{2(4)}\right]}$$
$$= 26 \text{ estantes a lo largo de un lado del almacén}$$

La longitud y amplitud del almacén a partir de la ecuación (12-14) y la ecuación (12-15) debería ser:

$$u = 3(10) + 237(4) = 978 \text{ pies de longitud}$$

y

$$v = 26(8 + 10) = 468 \text{ pies de ancho}$$

Diseño de la dársena o andén

El diseño del andén o dársena inicia con la necesidad de ésta para camión de carga o ferrocarril en el almacén. Prácticamente todo almacén requiere al menos una plataforma de carga de camión. La necesidad de un andén ferroviario no es tan universal y depende de si el producto se recibirá o se enviará en cantidades suficientemente grandes para justificar un desplazamiento ferroviario. Incluso si existe la necesidad, quizá no sea posible un andén si el almacén no se localiza en una estribación y el ferrocarril no está dispuesto a proporcionársela. Para propósitos del análisis, asumiremos que se necesitan ambos tipos de plataforma de carga.

Andén o plataforma de carga ferroviaria

Una consideración principal en el diseño del andén es la longitud que se requerirá para manejar en forma eficiente el flujo de producto. Se pueden realizar estimados preliminares al multiplicar la demanda promedio total por la longitud promedio de los vagones de ferrocarril utilizados, dividiendo esta cantidad entre la cantidad promedio almacenada dentro del vagón multiplicada por el número de cambios de carro por día. Es decir,

$$L = \frac{DS}{QN} \qquad \textbf{(12-16)}$$

donde:

L = longitud necesaria del andén (pies)
D = demanda diaria de todos los pedidos (cwt./día) (1 cwt = 100 libras)
S = longitud promedio del carro de ferrocarril utilizado (pies)
Q = peso promedio del producto colocado en cada carro (cwt/carro)
N = número de cambios de carro por día (número/día)

Ejemplo

Un almacén de comida recibe por ferrocarril, en promedio, 14,000 cwt de mercancía por día. Los vagones de ferrocarril tienen una capacidad de 570 cwt para este tipo de mercancía, y su longitud efectiva es de 75 pies. Se pueden completar dos cambios de carro por día en el apartadero.

La longitud necesaria del apartadero de ferrocarril puede estimarse a partir de la ecuación (12-16) como

$$L = \frac{14{,}000(75)}{570(2)} = 921 \text{ pies}$$

Además de la longitud del andén, existen muchas otras consideraciones de diseño. Por ejemplo, ¿deberá incurrirse en el gasto extra de cubrir el andén? Un andén cubierto ofrece protección contra el clima y contra robo, y contribuye a la eficiencia de la mano de obra en la carga y la descarga. El ancho requerido del andén es otro punto. Si se utilizaran montacargas para la carga y la descarga, se requiere un mínimo de 12 pies para una maniobra segura. Si el andén también funcionara como área de escala temporal mientras se verifica el pedido de entrada o mientras se colocan en tarimas los bienes recibidos, se requerirá mucho mayor ancho de andén, quizá 40 o 50 pies (12 o 15 m). Por último, es muy importante el nivel del andén en relación con la cama del vagón de ferrocarril. Ya sea que el ni-

vel del andén deba elevarse para alcanzar la cama del vagón, o ésta se baje al nivel del andén. Debido a que sólo es posible someter a ligeros declives a la mayor parte del equipo de manejo de materiales y como resulta costoso elevar el piso completo del almacén, por lo general es más económico hundir las vías por debajo del nivel del andén. Una cavidad de 45 pulgadas colocará a la cama del vagón al nivel del andén. El espacio entre la cama del vagón y el andén se comunica utilizando un puente de acero.

Dársena o plataforma para camión de carga

La mayor parte de los factores que afectan el diseño de la plataforma para camiones de carga son los mismos que afectan al diseño del andén ferroviario. Sin embargo, en vez de calcular la longitud del andén, las plataformas para camión de carga con frecuencia son referidas como el número de puertas de plataforma, o puestos, requeridos. Naturalmente, una puerta de camión cuenta con una amplitud estándar que puede ser convertida a la longitud total requerida de la plataforma. De forma muy simple, el número de puertas de plataforma de camión necesarias puede obtenerse mediante

$$N = \frac{DH}{CS} \qquad \textbf{(12-17)}$$

donde

N = número total de puertas de plataforma de camión
D = movimiento diario promedio en la plataforma
H = tiempo requerido para cargar o descargar un camión
C = capacidad del camión
S = tiempo por día disponible para cargar o descargar camiones

Esta fórmula calcula el número promedio de puertas de camión. No se consideran las variaciones en los camiones disponibles para carga y descarga, la utilización de la plataforma, ni la velocidad de carga y descarga del camión. Podrían necesitarse algunas puertas adicionales para cubrir estas indefiniciones.

Ejemplo

Un almacén para las farmacias de descuento Rico Discount reabastece a 250 farmacias al menudeo dentro de su región sobre una base semanal. El pedido de tienda promedio es de 6,500 lbs y pueden colocarse los pedidos de cuatro tiendas en un solo camión. Dos trabajadores necesitan un total de dos horas para cargar un camión y trabajan un turno de ocho horas. Rico asigna tantos trabajadores como se requieran para cargar los camiones en ocho horas. ¿Cuántas puertas de camión se requieren para cumplir con este nivel promedio de actividad?

Podemos estimar que 50 tiendas se atienden cada día por una semana de trabajo de cinco días. Por tanto, $50 \times 6{,}500 = \$325{,}000$ lbs de mercancía se recogen y se cargan para su entrega a tiendas cada día. Si los pedidos de cuatro tiendas pueden colocarse sobre un camión, la carga de un camión será de $4 \times 6{,}500 = 26{,}000$ libras. Utilizando la ecuación (12-17), podemos estimar el número de puertas como

$$N = \frac{325{,}000(2)}{26{,}000(8)} = 3.15, \text{ o 4 puertas}$$

Cuatro puertas le permitirán a Rico una capacidad extra para contingencias. De hecho, con la utilización de 26,000(8)(4) = 416,000 para cuatro puertas en total, existe un incre-

mento de (416,000 – 325,000) × 100/325,000 = 28% en la utilización posible de la plataforma. Puede presentarse disminución del ritmo de ([26,000(8)(4)/325,000] – 2) × 100/2 = 28% en la operación de carga de los camiones utilizando cuatro puertas mientras se cumple con los requerimientos de la tienda.

Diseño del sistema de manejo de materiales

El manejo de materiales dentro de una bodega o área de almacén por lo general es una actividad de mano de obra intensa, ya que la mayor parte del manejo de materiales en el mundo se realiza de manera manual, o en el mejor de los casos en forma semiautomática. La disposición de la mercancía, la magnitud con la que se utiliza el equipo, y el grado de automatización afectan a los costos de manejo de materiales. Encontrar la mejor combinación de ellos es labor del diseño del manejo de materiales.

White sugirió que el diseño del sistema de manejo de materiales ha evolucionado a través de cinco etapas de desarrollo.[9] Para él, las dimensiones básicas del manejo de materiales son desplazamiento, almacenamiento y control de materiales. Estos han evolucionado cronológicamente como

- Manejo manual de materiales caracterizado por alto grado de actividad humana.
- Manejo de materiales apoyado por asistentes mecánicos, como transportadores y camiones industriales para desplazar los materiales; anaqueles, estantes de almacenamiento y carruseles para almacenamiento; e interruptores y solenoides para control de equipo.
- Manejo automatizado caracterizado por el uso de vehículos guiados, dispositivos para tarimas automatizados, equipo de almacenamiento y recuperación automático e identificación automática de material.
- Integración de las "islas" de automatización para que se desarrollen sinergias entre las distintas actividades de manejo de materiales.
- Manejo inteligente de materiales mediante el uso de inteligencia artificial y sistemas expertos asociados.

Los primeros tres se han implantado adecuadamente. Incluso el más antiguo de ellos (el manejo manual) ha sido apoyado fuertemente por los defensores del justo a tiempo debido a su flexibilidad. La integración no se ha logrado adecuadamente y los sistemas de manejo inteligente son el objetivo del siglo veintiuno. Esto sugiere que las buenas prácticas alrededor del diseño básico permanecen como la columna vertebral de un buen manejo de materiales.

De acuerdo con White, las prácticas de buen manejo de materiales involucran "desplazar menos, almacenar menos y controlar menos".[10] Ackerman y LaLonde son más específicos y sugieren las siguientes formas con las que es posible reducir los costos de manejo de materiales: reducir las distancias recorridas, incrementar el tamaño de las unidades manejadas, buscar oportunidades de viajes redondos en la ruta de recolección de pedidos o almacenamiento y mejorar la utilización cúbica.[11] Estas sugerencias guían el siguiente análisis de las decisiones clave de manejo de materiales.

[9] John A. White, "Materials Handling in Warehousing: Basic and Evolution", *Annual Proceedings*, Vol. II (Boston: Council of Logistics Management, 9-12 de octubre de 1988.)
[10] Íbid.
[11] Kenneth B. Ackerman, Bernard J. LaLonde, "Making Warehousing More Efficient", *Harvard Business Review* (marzo-abril de 1980), págs. 94-102. Ver también, David R. Olson, "Seven Trends of Highly Effective Warehouses", *IEE Solutions* (febrero de 1996), págs. 12-15.

Selección del sistema de manejo de materiales

El sistema de manejo de materiales deberá seleccionarse como una parte integral de la actividad completa del sistema de almacenamiento. No es necesariamente el punto de comienzo del diseño del sistema de almacenamiento ni su punto terminal; Sin embargo, la administración de la empresa puede realizar algunas primeras aproximaciones generales del diseño final sin intentar balancear todos los factores simultáneamente. En este análisis, la administración debe tomar en cuenta muchas cosas. En primer lugar, ¿los sistemas de manejo de materiales de externos imponen restricciones en la elección? Por ejemplo, si los principales proveedores del almacén realizan entregas en tarimas de 48 $\times$ 48 pulgadas, un sistema de manejo de materiales diseñado para tarimas de 32 $\times$ 40 pulgadas podría requerir volver a colocar en diferentes tarimas de carga los bienes entrantes para evitar las incompatibilidades de equipo o ineficiencias de espacio de almacenamiento.

En segundo lugar, ¿el diseño del almacén impone restricciones sobre la elección del equipo? Techos bajos, edificios de múltiples niveles, pasillos angostos y largas distancias dentro almacén pueden hacer que cierto equipo no sea práctico de utilizar. Es decir, cuando las distancias de recorrido son largas, el desplazamiento manual de bienes dentro de los almacenes da por resultado costos excesivos de mano de obra. De igual manera, el uso de montacargas y elevadores dentro de edificios de múltiples niveles puede ser ineficiente.

En tercer lugar, la naturaleza y el nivel de la carga del sistema afectan fuertemente la selección de equipo. Cuando el volumen de utilización dentro del almacén varía en forma considerable o las características de manejo de la mezcla de productos no son razonablemente constantes, un sistema manual de manejo de materiales, con su bajo costo de inversión y alto grado de flexibilidad ante condiciones cambiantes, por lo general es la mejor opción. Por lo contrario, cuando se anticipa un volumen estable y sustancial se justifica un equipo más mecanizado. El capital, en la forma de equipo, se utiliza para reemplazar la mano de obra, pero los mayores niveles de inversión podrían no recuperarse si el sistema se vuelve obsoleto demasiado pronto. Este es un peligro particular con sistemas completamente mecanizados, como los de almacenamiento y recuperación. Sin duda, el motivo de la popularidad de los montacargas y sistemas de tarimas de carga es que ofrecen un buen balance entre mecanización y flexibilidad.

En cuarto lugar, las características del producto pueden ser determinantes. Los productos a granel, como polvos y líquidos, pueden manejarse de manera más eficiente en masa por un sistema de tanques y tuberías en vez de hacerlo en forma empacada mediante tarimas y montacargas. Una mezcla de tamaños de producto, pesos y configuraciones puede limitar el equipo a los tipos más flexibles o requerir que se utilice una combinación de tipos de equipo para cumplir con las distintas características del producto.

Por último, la planeación para contingencias puede influir en el diseño del sistema. A medida que los sistemas de manejo de materiales se vuelven más automatizados e integrados, también están más sujetos a suspensión total cuando algún segmento individual falla. Si la confiabilidad del sistema afecta fuertemente al servicio al cliente, a los costos relacionados con el sistema (como cargos por demora y detención), a los costos de operación del sistema, entonces los sistemas menos mecanizados o los sistemas mecanizados con redundancia integrada podrían ser la mejor dirección para el diseño final del sistema.

Una vez que el sistema básico de manejo de materiales se ha esbozado, deberán responderse preguntas de diseño más detalladas. La selección del tipo de sistema y la política de reemplazo de equipo son consideraciones importantes.

Tipo de sistema

Una decisión que coincide con el dimensionamiento del almacén es la selección del tipo de sistema de manejo de materiales que se utilizará. Las opciones comunes incluyen un sistema manual, un sistema de montacargas y tarimas, un sistema de transportador automático, un sistema de almacenamiento y recuperación automatizado o alguna combinación de estos sistemas. La selección entre ellos se puede iniciar con un análisis financiero similar al utilizado para elegir un tipo de almacén. La elección final deberá estar matizada con consideraciones subjetivas, como riesgo, flexibilidad y obsolescencia.

Ejemplo

Un fabricante de equipo de copiado para oficinas construirá un almacén para partes de repuesto. Las opciones para el diseño del sistema interno de manejo de materiales se reducen a un sistema de montacargas y tarimas de carga con transportador automático para la recepción de los pedidos, y a un sistema automatizado de almacenamiento y recuperación. La compañía proyecta ingresar 3'000,000 de pedidos por año y espera un rendimiento sobre los proyectos de 20% por año antes de impuestos.

El sistema de transportación automático y de montacargas requieren una inversión en estantes de almacenamiento de $2'000,000, y en camiones y transportadores de $1'500,000. Los estantes tienen una vida útil de 20 años y un valor de rescate de 30% de su valor inicial al final de 20 años. Los camiones y transportadores tienen una vida esperada de 10 años con un valor de rescate de 10% al final de los diez años. El costo de utilización es de $0.50 por pedido.

El sistema automático de almacenamiento y recuperación requiere una inversión en estantes de $3'000,000 y $2'000,000 en equipo y controles. Los estantes tienen una vida de 20 años con un valor de rescate de 30% al final de esa vida. El equipo y los controles tienen una vida de 10 años con un valor de rescate de 10% al final de los 10 años de uso. El costo de utilización es de $0.10 por pedido.

Se realiza un análisis financiero para determinar la mejor alternativa. Deseamos comparar el valor presente neto de cada alternativa de acuerdo con la ecuación (12-1). Sin embargo, la ecuación (12-1) se modifica ligeramente para considerar los diferentes tiempos de vida de los estantes versus los del equipo, y el término C_j representa un costo (desembolso de efectivo) y no un ahorro (ingreso de efectivo). Es decir, el VPN de los estantes es

$$VPN = -I - \frac{C_j}{(1+i)^j} + \frac{S_{20}}{(1+i)^{20}}$$

En tanto que para el equipo, el *VPN* es

$$VPN = -I - \frac{C_j}{(1+i)^j} + \frac{S_{10}}{(1+i)^{10}} - \frac{I}{(1+i)^{10}} - \frac{C_{j+10}}{(1+i)^{j+10}} + \frac{S_{20}}{(1+i)^{20}}$$

Estimamos que la mejor alternativa es la que tiene el *VPN* menos negativo.

Ahora se desarrollan dos tablas: una para el sistema de transportador y montacargas (tabla 12-5) y otra para el SA/AR (tabla 12-6)). Ya que el *VPN* para el SA/AR es menos negativo que para el sistema de transportador y montacargas, el SA/AR ofrece el mejor rendimiento (cuesta menos) y es el que deberá considerarse para su implantación.

Año	Inversión		Costo anual de operación	Flujo de efectivo	Flujo de efectivo descontado[d]
	Estantes	Equipo			
0	($2,000)	($1,500)		($ 3,500)	($ 3,500)
1			($1,500)	(1,500)	(1,250)
2			(1,500)	(1,500)	(1,042)
3			(1,500)	(1,500)	(868)
4			(1,500)	(1,500)	(723)
5			(1,500)	(1,500)	(603)
6			(1,500)	(1,500)	(502)
7			(1,500)	(1,500)	(419)
8			(1,500)	(1,500)	(349)
9			(1,500)	(1,500)	(291)
10		(1,350)[a]	(1,500)	(2,850)	(460)
11			(1,500)	(1,500)	(202)
12			(1,500)	(1,500)	(168)
13			(1,500)	(1,500)	(140)
14			(1,500)	(1,500)	(117)
15			(1,500)	(1,500)	(97)
16			(1,500)	(1,500)	(81)
17			(1,500)	(1,500)	(68)
18			(1,500)	(1,500)	(56)
19			(1,500)	(1,500)	(47)
20	600[b]	150[c]	(1,500)	(750)	(20)
				VPN =	($11,003)

[a] El equipo se reemplaza con una inversión neta igual al costo del nuevo equipo menos el valor de rescate del viejo; es decir, $1'500,000 – (1'500,000)(0.10) = $1'350,000.
[b] Valor de rescate de $2'000,000 (0.30) = $600,000
[c] Valor de rescate de $1'500,000 (0.10) = $150,000
[d] Flujos de efectivo descontados al 20% de acuerdo con $1/(1 + 0.2)^j$.

Tabla 12-5 Análisis de flujo de efectivo para la alternativa de manejo de materiales por transportador y montacargas

Sobre una escala menor que el sistema completo de manejo de materiales, las piezas individuales de equipo varían en sus capacidades y potenciales. Cada una tiene una inversión inicial, gastos anuales de operación y valor de rescate diferentes. Nuevamente, la selección se realiza al comparar los valores presente de las alternativas. Cuando los gastos operativos son iguales para todos los años durante la vida útil, y la vida útil del equipo es igual entre las alternativas, la ecuación del valor presente neto puede reescribirse como sigue:

$$VPN = I + C\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} - \frac{S_n}{(1+i)^n} \qquad \textbf{(12-18)}$$

Año	Inversión: Estantes	Inversión: Equipo	Costo anual de operación	Flujo de efectivo	Flujo de efectivo descontado[d]
0	($3,000)	($2,000)		($5,000)	($5,000)
1			($ 300)	(300)	(250)
2			(300)	(300)	(208)
3			(300)	(300)	(174)
4			(300)	(300)	(145)
5			(300)	(300)	(121)
6			(300)	(300)	(100)
7			(300)	(300)	(84)
8			(300)	(300)	(70)
9			(300)	(300)	(58)
10		(1,800)[a]	(300)	(2,100)	(339)
11			(300)	(300)	(40)
12			(300)	(300)	(34)
13			(300)	(300)	(28)
14			(300)	(300)	(23)
15			(300)	(300)	(19)
16			(300)	(300)	(16)
17			(300)	(300)	(14)
18			(300)	(300)	(11)
19			(300)	(300)	(9)
20	900[b]	200[c]	(300)	800	21
				VPN =	($6,722)

[a] El equipo se reemplaza con una inversión neta igual al costo del nuevo equipo menos el valor de rescate del viejo; es decir, $2′000,000 – (2′000,000)(0.10) = $1′800,000.
[b] Valor de rescate de $3′000,000 (0.30) = $900,000
[c] Valor de rescate de $2′000,000 (0.10) = $200,000
[d] Flujos de efectivo descontados al 20% de acuerdo con $1/(1 + 0.2)^j$.

Tabla 12-6 Análisis de flujo de efectivo para la alternativa de manejo de materiales por el sistema automático de almacenamiento y recuperación

donde

VPN = valor presente neto del equipo durante su vida útil
I = inversión inicial
C = costo anual de operación
i = la tasa de descuento o tasa mínima a la que se espera rindan inversiones similares
S_n = valor de rescate en el año n
n = vida útil del equipo (años)

Por conveniencia, la convención del signo se invirtió con respecto del ejemplo anterior. El objetivo ahora es seleccionar la alternativa con el valor presente neto mínimo.

Ejemplo

Suponga que dos montacargas de tipo *A* pueden desplazar la misma cantidad de productos que tres montacargas tipo *B*. Se cuenta con la siguiente información:

	Dos montacargas tipo A	Tres montacargas tipo B
Inversión inicial total	$20,000	$15,000
Vida útil (planeada)	7	7
Valor de rescate (estimado)	$ 5,000	$ 2,000
Gastos de operación anuales	$ 4,000	$ 6,000
Tasa mínima	0.20	0.20

Al aplicar la ecuación (12-18) a ambos tipos de montacargas, tenemos

$$VPN_A = 20{,}000 + 4{,}000\,\frac{(1+0.2)^7 - 1}{0.2(1+0.2)^7} - \frac{5{,}000}{(1+0.2)^7} = \$33{,}023$$

Mejor opción

y

$$VPN_B = 15{,}000 + 6{,}000\,\frac{(1+0.2)^7 - 1}{0.2(1+0.2)^7} - \frac{2{,}000}{(1+0.2)^7} = \$36{,}040$$

Dado que $VPN_A < VPN_B$, seleccionar los dos montacargas de tipo *A* parece ser la mejor opción financiera.

Reemplazo de equipo

El equipo de manejo de materiales con frecuencia tiene una vida útil más corta que la estantería de almacenamiento, los depósitos, los mezanines y otros dispositivos no mecánicos utilizados en el proceso de manejo de materiales. Por ello, con frecuencia es necesario desarrollar una política para reemplazar el equipo cuando éste se desgaste o se vuelva obsoleto. La necesidad de una política de reemplazo es muy clara para el caso de los montacargas, donde su vida económica no es larga y deben reemplazarse con frecuencia. La necesidad de una política también se presenta en distintos segmentos de sistemas de manejo a granel o en sistemas transportadores, donde la vida útil del equipo puede ser mucho mayor. Es común que la administración de la empresa cuente con reglas empíricas de reemplazo, como sería reemplazar los montacargas cada cinco años. Las reglas empíricas con base en la experiencia pueden resultar muy buenas. Sin embargo, cuando tal experiencia no está disponible para ayudar a desarrollar lineamientos de la política, o cuando estas reglas empíricas no han sido verificadas por análisis económicos "formales", resulta útil tener un medio analítico para desarrollar políticas de reemplazo.

Para desarrollar las políticas de reemplazo pueden ser útiles formas especiales del análisis de valor presente, aunque también pueden utilizarse otros métodos, como periodo de recuperación de la inversión y el simple rendimiento sobre la inversión. Existen varias características clave por observar acerca de tales problemas. Primero, se espera que el ciclo de reemplazo continúe indefinidamente en el futuro. Segundo, los costos de operación del equipo tienden a incrementarse con el tiempo a medida que el equipo envejece. Tercero, el equipo subsiguiente será más eficiente a medida que se presenten mejoras tecnológicas.

Para comparar una serie de ciclos de reemplazo de diferentes duraciones, se utiliza una variación del análisis de valor presente conocida como *costo equivalente anual (CA).* Es decir,

$$CA_n = \left[I + \sum_{j=1}^{n} \frac{C_j}{(1+i)^j} - \frac{S_n}{(1+i)^n} \right] \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \qquad \textbf{(12-19)}$$

Se busca el periodo n para reemplazo que ofrece el valor CA_n mínimo.

Ejemplo

Suponga que una flotilla de montacargas de manejo de materiales especializados se utiliza dentro de un almacén. Los montacargas se reemplazan en forma continua a un costo inicial de $30,000 cada uno. El valor de rescate disminuye de manera proporcional con la antigüedad del montacargas de forma que $S_n = I(1 - R \times n)$, donde R es $1/N$, N es la vida normal de un montacargas, y n es el ciclo de tiempo de reemplazo. N es igual a 10 años para estos montacargas. Los montacargas pueden venderse en cualquier momento por el valor neto sin depreciarse. Los costos de operación para un montacargas, incluyendo mantenimiento, son $2,000 durante el primer año y tiende a incrementarse a un ritmo de $300 por año al cuadrado después del primer año. Sin embargo, debido a las mejoras tecnológicas, se espera que exista una reducción de $200 por año en los gastos de operación. Un rendimiento de 20% antes de impuestos será la directriz para todos los proyectos de la compañía.

El costo operativo de un montacargas, incluyendo el efecto de las mejoras tecnológicas, puede aproximarse como $C_j = a + b(j-1) + c(j-1)^2$ donde a = nivel constante de costos de operación anuales (dólares), b = tasa de incremento (o disminución) en los costos de operación anuales debido a las mejoras tecnológicas (dólares/año), c = tasa de incremento en los costos de operación anuales (dólares/año/año), y j = año particular del estimado de costos. Utilizando esta función de costos C_j, así como otra información sobre el problema, podemos calcular el costo anual equivalente para un ciclo de reemplazo de un año ($n = 1$). Es decir,

$$CA_1 = \left[30{,}000 + \sum_{j=1}^{1} \frac{2{,}000 - 200(0) + 300(0)^2}{(1+0.2)^1} - \frac{27{,}000}{(1+0.2)^1} \right] \left[\frac{0.2(1+0.2)^1}{(1+0.2)^1 - 1} \right] = \$11{,}000$$

Al repetir este cálculo para valores crecientes de n se genera la serie de valores de costos anuales que se muestra en la tabla 12-7. El costo anual equivalente más bajo es para $n = 3$. Por ello, esto sugiere que para minimizar costos, la mejor política es reemplazar los montacargas al término de tres años de servicio, pero reemplazarlos entre los dos y los cinco años de servicio da por resultado costos que son un máximo de 3% mayores que el óptimo.

Decisiones sobre la disposición de productos

Una decisión importante del diseño del almacén tiene que ver con la disposición interna de los artículos. Después de que se conoce una configuración de edificio; que las instalaciones de recepción o despacho se especificaron; que los bloques de espacio se definieron para los productos peligrosos, para los productos bajo protección contra robo y para la recolección de pedido; y después de que se consideró el sistema de manejo de materiales que se utilizará, debe tomarse la decisión de dónde se ubicarán los artículos de inventa-

Tabla 12-7 Ejemplo de los cálculos para determinar el tiempo óptimo del ciclo de equipo[a]

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7) = (1+3–5)(6)
Ciclo del tiempo de reemplazo, n	Inversión inicial, I	Costos de operación totales, C_j	Costos de operación descontados, $\sum_{j=1}^{n} \frac{C_j}{(1+i)^j}$	Valor de rescate, S_n	Valor de rescate descontado $\frac{S_n}{(1+i)^n}$	Factor descontado, $\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$	Costo anual promedio equivalente, CA_n
1	$30,000	$2,000[b]	$1,667	$27,000[c]	$22,500	1.20	$11,000
2	30,000	4,100	3,125	24,000	16,667	0.65	10,698
3	30,000	6,900	4,745	21,000	12,153	0.47	**10,618** ←
4	30,000	11,000	6,722	18,000	8,680	0.39	10,936
5	30,000	17,000	9,133	15,000	6,028	0.33	10,925
6	30,000	25,500	11,979	12,000	4,019	0.30	11,388
7	30,000	37,100	15,216	9,000	2,512	0.28	11,957
8	30,000	52,400	18,774	6,000	1,395	0.26	12,319
9	30,000	72,000	22,572	3,000	581	0.25	12,998
10	30,000	96,500	26,528	0	0	0.24	13,567

[a] Todos los costos se encuentran en miles de dólares
[b] Calculado como $C_j = 2000 - 200(j-1) + 300(j-1)^2$ y se acumula cuando hay más de un año en el ciclo de reemplazo
[c] Calculado como $S_n = I[1 - 0.1(n)]$

rio, cómo deberán ser acomodados y qué método deberá utilizarse para localizarlos dentro del almacén. Estas cuestiones han correspondido desde hace tiempo al ingeniero industrial para la disposición de las instalaciones de producción, y gran parte de la metodología de decisión desarrollada para la distribución para la producción es transferible al problema de la distribución del almacén. Tales métodos complementan a aquellos que tratan en forma más directa con el problema de la disposición dentro del almacén, y estos métodos se combinan en el siguiente análisis

Ubicación de las existencias

La ubicación de las existencias representa el problema de decidir la disposición física de la mercancía dentro de un almacén para minimizar los gastos de manejo de materiales, para lograr una máxima utilización del espacio de almacén y para cumplir ciertas restricciones sobre la ubicación de la mercancía, concernientes, por ejemplo, a la seguridad, protección contra incendios, compatibilidad de producto y necesidades de recolección de pedidos. La recuperación del inventario (o su colocación) por lo general se presenta de tres maneras. Primero, existe una selección de ida y vuelta, donde sólo un artículo o una carga se recoge desde una ubicación particular. Un recorrido típico sería abandonar la plataforma de salida, recoger un producto y regresar a la plataforma de salida.

Segundo, existe una ruta de recolección en la que varios artículos sobre un pedido se recogen antes de regresar al punto de salida, o área de escala temporal. El volumen recogido sobre cualquier ruta puede estar limitado por la capacidad del camión del recolector de pedidos.

Tercero, existe un área designada de recolección de pedidos por trabajador. Los recolectores de pedidos recuperan los artículos mediante una selección de ida y vuelta, o por ruta de recolección dentro de los límites de sus áreas de trabajo especificadas.

El objetivo de la planeación de ubicación en cada uno de estos problemas es minimizar los costos totales de manejo. Esto con frecuencia se traduce en la minimización de la distancia total de recorrido a través del almacén. Además, la recolección de pedidos por lo regular es de mayor interés que el almacenamiento de artículos, ya que el gasto de mano de obra para recoger la mercancía desde un almacén es mucho mayor que el requerido para almacenarlo. Esto se debe a que los menores tamaños de carga promedio se desplazan desde una ubicación de almacenamiento que hacia ésta. Por ello, nuestra principal preocupación es la minimización de los costos de manejo de materiales en la actividad de recolección de pedidos de un almacén.

Los métodos intuitivos son atractivos en cuanto a que proporcionan algunas directrices útiles para la disposición sin la necesidad de utilizar matemáticas de alto nivel. La disposición es con frecuencia intuitiva y con base en cuatro criterios: complementariedad, compatibilidad, popularidad y tamaño. La *complementariedad* se refiere a la idea de que los artículos solicitados, con frecuencia juntos, deberán ubicarse cercanos entre sí. Ejemplos de tales artículos son la pintura y las brochas, las hojas de afeitar con la crema de afeitar, y las plumas y lápices. Este factor es de particular importancia cuando la recolección de pedidos es del tipo de ruta-recolector o cuando se dispone el almacenamiento, flujo o estantes en sistemas designados de áreas de recolección de pedidos.

La *compatibilidad* incluye la cuestión de si los artículos pueden colocarse en forma práctica uno junto al otro. Las llantas de automóviles no son compatibles con los alimentos, y la gasolina no es compatible con los cilindros de oxígeno. Por ello, éstos no deben colocarse juntos. Los productos se consideran compatibles si no existe restricción en su proximidad de ubicación.

La compatibilidad y la complementariedad pueden decidirse antes de que se tomen en cuenta los costos de recolección del pedido. Además, existe la cuestión de balancear las cargas de trabajo, minimizando la fatiga y equilibrando la distancia de recorrido cuando se emplean múltiples trabajadores para llenar los pedidos, como en un diseño de área de recolección de pedidos designada. Una vez que estas restricciones se han tomado en cuenta, la disposición por popularidad o por tamaño se vuelve apropiada.

La disposición por *popularidad* reconoce que los productos tienen distintos índices de rotación dentro de un almacén, y que el costo de manejo de materiales se relaciona con la distancia recorrida dentro del almacén para localizar y recoger el inventario. Si las existencias se recuperan desde su ubicación en volúmenes más pequeños por viaje que como se suministraron, se pueden minimizar los costos de manejo de materiales mediante la ubicación de los artículos de rápido desplazamiento cercanos al punto de salida, o área de escala, y los artículos de lento desplazamiento atrás de éstos. Esto supone que los artículos que requieren un gran número de viajes para un nivel dado de demanda tendrán la menor distancia de recorrido posible por viaje de recolección de pedido.

La distribución por popularidad desprecia el tamaño del artículo que se almacena y la posibilidad de que un mayor número de artículos más pequeños puedan colocarse cerca del punto de salida, o área de escala. Esto sugiere que los costos de manejo pueden minimizarse si el *tamaño* (volumen cúbico) del artículo se utiliza como la guía de la disposición. Al colocar los artículos más pequeños cerca del punto de salida dentro del almacén, el manejo de materiales puede ser menor que en la disposición por popularidad, ya que podrá colocarse una mayor densidad de artículos cerca de la plataforma de embarque.

Sin embargo, la distribución por tamaño no garantiza menores costos que con la disposición por popularidad. El método por tamaño sería una buena opción cuando se concentra alta rotación en los artículos más pequeños.

La distribución por popularidad o por tamaño no es completamente satisfactoria porque una desprecia un factor importante para la otra. Heskett combinó ambas características en un índice de volumen cúbico por pedido.[12] *El índice es la razón o proporción de los pies cúbicos requeridos en promedio por el producto para su almacenamiento contra el número promedio de pedidos diarios en los que se solicita el artículo.* Productos con valor *bajo* del índice se colocan lo más cercano posible al punto de salida. El índice cúbico por pedido (ICP) intenta cargar el espacio de almacén de manera que el inventario de mayor volumen se desplace la distancia más corta posible. Al comparar con un método de programación lineal correspondiente, se encontró que se trata de un método de optimización.[13] Además, se ha utilizado para análisis más amplios de problemas de disposición o distribución.[14]

Davies, Gabbard y Reinholdt compararon cuatro estrategias de disposición, incluyendo el método ICP.[15]

---

[12] J. L. Heskett, "Cube-per-Order Index-A Key to Warehouse Stock Location", *Transportation and Distribution Management,* Vol. 3 (abril de 1963), págs. 27-31; y J. L. Heskett, "Putting the Cube-per-Order Index to Work in Warehouse Layout", *Transportation and Distribution Management,* Vol. 4 (agosto de 1964), págs. 23-30.

[13] Carl Kallina, Jeffery Lynn, "Application of the Cube-per-Order Index Rule for Stock Location in a Distribution Warehouse", *Interfaces*, Vol. 7, Núm. 1 (noviembre de 1976), págs. 37-46. Ver también Hoyt G. Wilson, "Order Quantity, Product Popularity, and the Location of Stock in Warehouse", *AIIE Transactions*, Vol. 9, Núm. 3 (septiembre de 1977), págs. 230-237.

[14] Charles J. Malmborg, Stuart J. Deutsch, "A Stock Location Model for Dual Address Order Picking Systems", *IIE Transactions*, Vol. 20, Núm. 1 (marzo de 1988), págs. 44-52.

[15] Arthur L. Davies, Michael C. Gabbard, Ernst F. Reinholdt, "Storage Method Saves Space and Labor in Open-Package-Area Picking Operations", *Industrial Engineering* (junio de 1983), págs. 68-74.

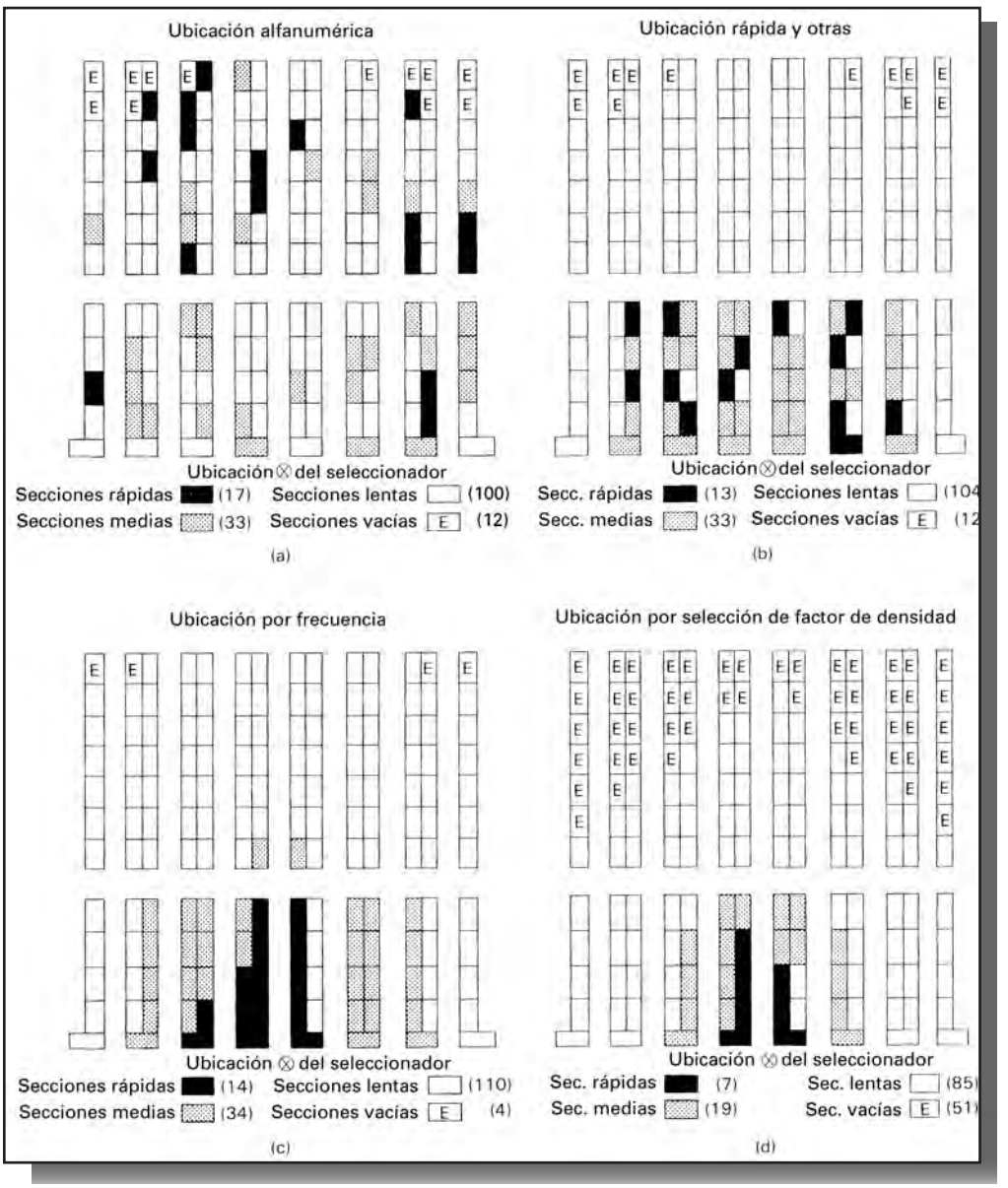


Figura 12-5 Comparación de cuatro estrategias de ubicación del inventario.

Fuente: Arthur L. Davies, Michael C. Gabbard y Ernst F. Reinholdt, "Storage Method Saves Space and Labor in Open-Package-Area Picking Operations", *Industrial Engineering* (junio de 1983), pág. 70. Copyright Institute of Industrial Engineers, Norcross, GA.

1. *Ubicación alfanumérica:* todos los artículos se colocan en estricta secuencia alfanumérica.
2. *Ubicación rápida y otros:* artículos seleccionados se separan del resto, o de los "otros" artículos y se almacenan en secuencia alfanumérica lo más cercano a la posición de trabajo del seleccionador.
3. *Ubicación por frecuencia:* los artículos de más rápido desplazamiento se colocan lo más cercano posible a la posición de trabajo del seleccionador. (*Observe:* Este es equivalente al método de disposición por popularidad.)
4. *Ubicación por selección del factor de densidad (SFD):* cuanto mayor sea la proporción del número de selecciones por año al volumen de almacenamiento requerido en pies cúbicos, más cercano se colocará el artículo a la posición de trabajo del seleccionador (*Observe:* Esto equivale al inverso del índice cúbico por pedido.)

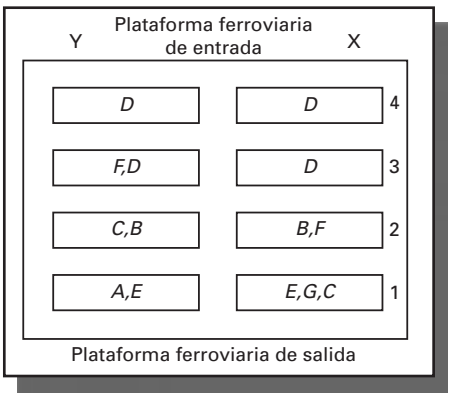
Se realizó un estudio de 800 artículos de inventario que tenían un promedio de 800 selecciones por día. Se observó que la ubicación SFD, o ICP eran superiores a las otras, como se muestra en la figura 12-5. Generó: 1) la distancia más corta promedio por recorrido de selección; 2) el menor tiempo promedio por recorrido de selección; 3) el menor tiempo por artículos de línea seleccionada, y 4) el menor espacio total. El método de ubicación SFD se ha implantado en forma extensiva en los almacenes de distribución de materiales de Western Electric.

Ejemplo

Un almacén cuenta con la configuración interna que se muestra en la figura 12-6. Cada bahía de almacenamiento puede dar cabida a 40,000 pies cúbicos de producto. Se ha reunido información sobre el volumen cúbico requerido para la unidad de envío más pequeña del artículo para el cual se puede levantar un pedido, el número esperado de pedidos sobre los que aparece el artículo sobre el horizonte de planeación de un año, y el número esperado de unidades despachadas durante el año. En la tabla 12-8 se muestra la información básica para siete artículos, así como los cálculos para el ICP de cada artículo. Asignar los artículos con el menor ICP a las bahías de almacenamiento más cercanas a la plataforma de salida da como resultado la siguiente distribución aceptable de producto:

Bahía núm.	Producto	Porcentaje utilizado de la bahía
1Y	A—4,800 pies cúbicos	
	E—35,200 pies cúbicos	100%
1Z	E—2,400 pies cúbicos	
	G—13,600 pies cúbicos	
	C—24,000 pies cúbicos	100
2Y	C—1,120 pies cúbicos	
	B—38,880 pies cúbicos	100
2Z	B—25,120 pies cúbicos	
	F—14,880 pies cúbicos	100
3Y	F—4,800 pies cúbicos	
	D—35,200 pies cúbicos	100
3Z	D—40,000 pies cúbicos	100
4Y	D—40,000 pies cúbicos	100
4Z	D—33,600 pies cúbicos	84

Figura 12-6
Estructura de bahía de almacenamiento de almacén interno para el problema del ejemplo con disposición de índice cúbico por pedido.



Los métodos intuitivos de disposición son simples de utilizar pero no garantizan que se encontrará el patrón de disposición de manejo de materiales con el menor costo. Por ejemplo, los métodos que se acaban de analizar se relacionan mejor con la recolección de pedidos cuando se trata del tipo de ida y vuelta. Cuando participa un direccionador del recolector, los métodos de diseño de rutas de vehículos (ver capítulo 7) son más apropiados.[16] Asimismo, los distintos métodos que se han desarrollado para la disposición de planta también son útiles para la disposición de almacén. Un modelo bien conocido de éstos es la técnica computarizada de asignación relativa de las instalaciones (CRAFT, por sus siglas en inglés: computerized relative allocation of facilities technique)[17] y sus distintas versiones derivadas.[18] El diseño de instalaciones computarizado (COFAD, por sus si-

Tabla 12-8 Cálculos del índice cúbico por pedido para el problema del ejemplo

Producto	(1) Tamaño del artículo, pies cúbicos	(2) Número esperado de pedidos/año	(3) Inventario de unidades promedio	(4) = (2)/250 Número promedio de pedidos diarios[a]	(5) = (1) × (3) Espacio de alm. requerido, pies cúbicos	(6) = (5)/(4) Índice cúbico por pedido
A	6.0	6,750	800	27	4,800	177.8
B	4.0	15,750	16,000	63	64,000	1015.9
C	1.0	11,250	25,120	45	25,120	558.2
D	8.0	25,500	18,600	102	148,800	1458.8
E	3.0	17,750	12,533	71	37,599	529.6
F	5.0	3,500	3,936	14	19,680	1405.7
G	15.0	6,250	907	25	13,605	544.2
Totales		86,750	77,896		313,604	

[a] Basado en 250 días de venta por año

[16] Ver también James A. Chisman, "The Clustered Traveling Salesman Problem", *Computers and Operations Research*, Vol. 2, Núm. 2 (septiembre de 1975), págs. 115-119; y Marc Goetschalckx, H. Donald Ratliff, "Order Picking in an Aisle", *IIE Transactions*, Vol. 20, Núm. 1 (marzo de 1988), págs. 53-62.
[17] Elwood S. Buffa, Gordon C. Armour, Thomas E. Vollman, "Allocating Facilities with CRAFT", *Harvard Business Review*, Vol. 42 (marzo-abril de 1964), págs. 136-158.
[18] R. L. Francis, J. A. White, *Facility Layout and Location: An Analytical Approach* (Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1974).

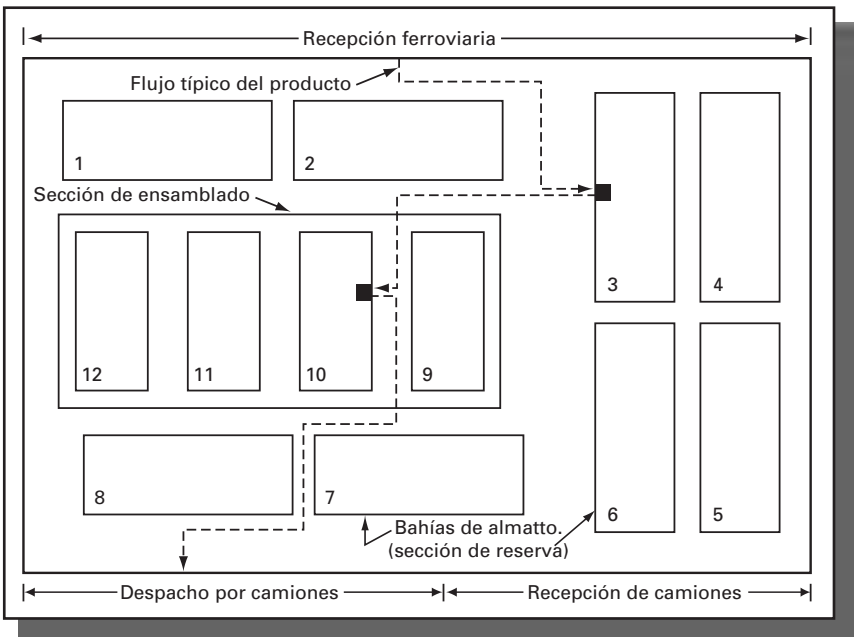


Figura 12-7 Disposición muestra de áreas de reserva y ensamblado dentro de una bodega de alimentos.

glas en inglés: computerized facilities design) no sólo minimiza el costo de desplazamiento, sino que también asigna equipo de manejo de materiales a tipos de desplazamiento dados.[19] SPACECRAFT amplía el modelo CRAFT a instalaciones de múltiples niveles al agregar pisos adicionales al primer piso.[20] En un interesante estudio comparativo, Trybus y Hopkins encontraron que los métodos por computadora (específicamente, CRAFT) ofrecían mejores resultados que lo que podían obtener sujetos humanos a medida que el tamaño del problema crecía.[21] CRAFT siempre arrojó buenos resultados, sin importar el tamaño del problema. MULTIPLE extiende a CRAFT a pisos múltiples y obtiene soluciones mejoradas a partir del uso de la tecnología de curva de llenado de espacio.[22] Actualmente, incluso el método de sistemas expertos se está aplicando al problema de la disposición/distribución.[23]

Un problema más complejo es la disposición de dos etapas que se muestra en la figura 12-7. El producto se recibe en plataformas de ferrocarril o de camión y se desplaza para almacenamiento semipermanente (reserva). A medida que el inventario se agota dentro del área de recolección de pedidos (ensamblado), se desplaza inventario de reabasteci-

[19] "COFAD-A New Approach to Computerized Layout", *Modern Materials Handling* (abril de 1975), págs. 40-43.
[20] Roger V. Jonson, "Spacecraft fot Multi-floor Layout Planning", *Management Science*, Vol. 28, Núm. 4 (abril de 1982), págs. 407-417.
[21] Thomas W. Trybus, Lewis D. Hopkins, "Humans *vs*. Computer Algorithms for the Plant Layout Problem", *Management Science*, Vol. 26, Núm. 6 (junio de 1980), págs. 570-574.
[22] Yavuz A. Bozer, Russell D. Meller, Steven J. Erlebacher, "An improvement-type Layout Algorithm for Single and Multiple-floor Facilities", *Management Science*, Vol. 40, Núm. 7 (julio de 1994), págs. 918-932.
[23] John G. Carlson, Andrew C. Yao, "A Visually Interactive Expert System for a Distribution Center Environment", *International Journal of Production Economics"*, Vol. 45, Núm. 1 (1 de agosto de 1996), págs. 101-109.

			Requerimientos de espacio		Cap. de bahías	
Producto	Modo de entrega	Índice de rotación	Almacén	Ensamblado[a]	Reserva	Ensamblado
1	Ferrocarril	15	9,300	62	5,000	2,500
2	Camión	14	1,600	18	1,000	500
3	Camión	17	3,800	69	4,000	2,000
4	Ferrocarril	16	5,700	96	2,000	1,000
5	Ferrocarril	20	18,000	160	8,000	4,000

[a] Estos son requerimientos mínimos para el ensamblado.

Tabla 12-9 Capacidades de bahía de almacenamiento y requerimientos de espacio para las áreas de reserva y ensamblado para la bodega de alimentos del ejemplo

miento desde la sección de almacenamiento a la sección de recolección de pedidos. A medida que los pedidos se despachan, el producto se desplaza desde la sección de recolección de pedidos hasta la plataforma de salida. Las cuestiones serán dónde colocar cada producto dentro del almacén y cuánto espacio deberá asignarse para cada producto dentro de la secciones semipermanente y de recolección de pedidos. La tabla 12-9 ilustra un ejemplo hipotético de este problema utilizando sólo unos cuantos productos e información para mostrar los contrastes.

Se puede formular un modelo de programación lineal como método para este problema. Se muestra en el suplemento técnico de este capítulo. Lo que buscamos hacer es minimizar los costos totales de desplazar los productos a través del almacén, sujeto a las limitaciones sobre cantidades mínimas de producto que se almacenarán dentro de la sección de ensamblado, dentro de una bahía particular y dentro del almacén. Ya que los productos no pueden ocupar las mismas ubicaciones, esto se vuelve un problema de asignación por resolver. Una vez que se estimaron los costos de manejo por unidad para las distintas trayectorias de flujo de producto a través del almacén, el problema puede fácilmente resolverse por la mayoría de los programas generales de computadora de programación lineal. Aunque aquí no se presenta toda la información para este problema, la naturaleza general de la solución sería como la mostrada en la tabla 12-10.

Conceptualmente, la programación lineal es una buena elección para resolver el problema de la disposición, ya que, en efecto, se buscan todos los posibles arreglos para obtener un óptimo, y las secciones de ensamblado y de reserva pueden distribuirse simultáneamente. Sin embargo, los problemas prácticos que involucran a miles de productos pueden ser demasiado grandes para ser resueltos en forma razonable por la programación lineal. Por ello, la aplicación de los métodos analizados en esta sección, en especial los desarrollados para la disposición de planta, pueden requerir la creación de zonas de producto dentro del almacén o la agrupación de productos en familias para limitar el tamaño del problema. Además, un método como CRAFT logra mayor velocidad computacional que la programación lineal con poca pérdida en la precisión de la solución. Como Buffa, Armour y Vollman señalan: "Las respuestas generadas no son seguramente las mejores como lo son las respuestas de los problemas de programación lineal, pero representan soluciones que no pueden ser fácilmente mejoradas".[24]

[24] Buffa, Armour y Vollman, "Allocating Facilities with CRAFT".

	Producto				
Bahía	1	2	3	4	5[a]
1	4,238			305	
2	5,000				
3		5		1,190	
4		510			
5		1,000			
6		67	3,371		
7				1,309	2,765
8				2,000	
9		18		96	3,472
10					4,000
11	62				4,000
12			69		3,763
Requerimientos totales	9,300	1,600	3,800	5,700	18,000

[a] Gran parte del producto 5 se localiza en la sección de ensamblado, debido a la alta rotación de producto. Si esto crea demasiado desbalance con los otros productos, se podrán incrementar los requerimientos de espacio de los productos 1 al 4, o se podrá añadir una restricción al modelo que limite la cantidad de un producto que deberá almacenarse en la sección de ensamblado.

Tabla 12-10 Cantidad de cada producto asignado a las bahías respectivas para lograr un costo mínimo total de manejo para una bodega de alimentos.

Perfiles de actividad

Un almacén no es típicamente un área en la que se presente una disposición singular. En vez de ello, el área con frecuencia se divide en distintas subáreas con funciones especializadas. Dependiendo del nivel de actividad y la mezcla de productos, las áreas definidas pueden ser: 1) de tarima completa/caja completa; 2) de caja fraccional; 3) a granel; 4) enlazado; 5) promocional; 6) de mercancía devuelta, y 7) administrativa. Para determinar la necesidad de estas áreas y su tamaño, Frazelle sugiere un proceso de extracción de datos denominado *perfiles de actividad*.[25] Se obtienen distribuciones estadísticas de la información real de ventas sobre la mezcla de pedidos, líneas por pedido, volumen cúbico por pedido, y líneas y volumen cúbico por pedido. Esta información también es útil para aplicar la metodología de ubicación de inventario descrita en la sección anterior.

Un primer paso en la identificación de perfiles de actividad es generar una distribución de la mezcla de pedidos. Buscamos encontrar qué proporción del volumen de pedido se encuentra en cantidades de tarima de carga, caja completa y caja fraccional. Ya que la recuperación de inventario es claramente diferente para estas tres áreas en cuanto a los procedimientos tanto de configuración del almacenamiento como de manejo, tomar muestras del almacén durante un tiempo razonable, digamos un año, proporcionará el nivel de actividad necesario para diseñar estas áreas. Otra mercancía clasificada como a granel, enlazada y promocional puede manejarse de manera similar. Si se prorratea el es-

[25] Edward Frazelle, *World-Class Warehousing and Material Handling* (Nueva York: McGraw-Hill, 2002), capítulo 2.

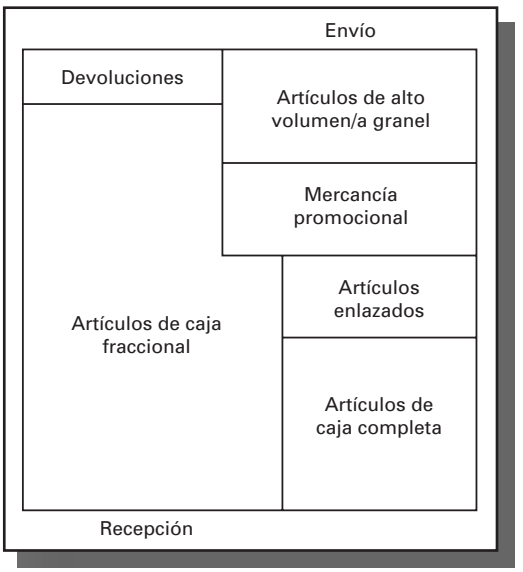


Figura 12-8
Configuración de área para un almacén de alta utilización con base en el establecimiento de perfiles de actividad.

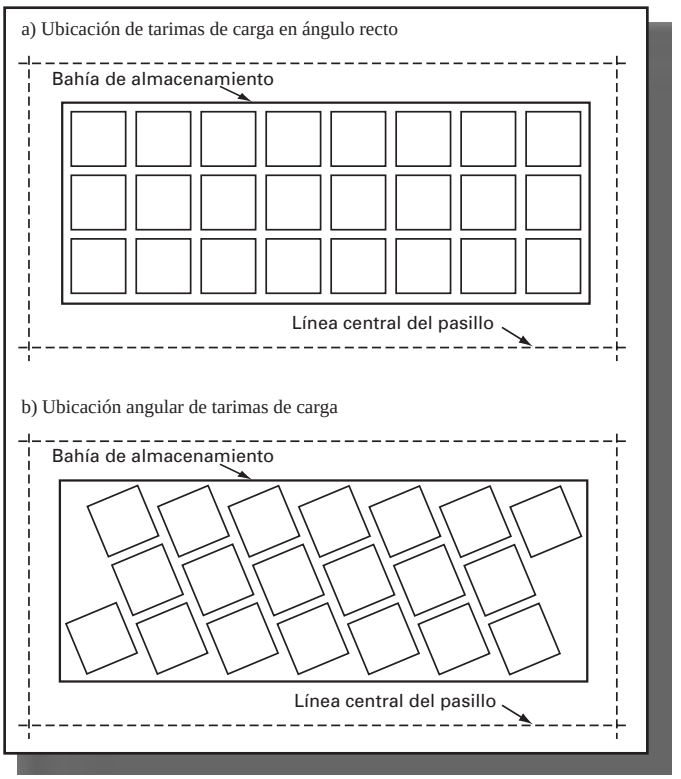
pacio de almacén entre los distintos usos puede llevar a la distribución de espacio que se muestra en la figura 12-8 para un almacén de alto volumen.

La misma información de pedido se subdivide a lo largo de líneas de área. Por ejemplo, la mercancía asignada a un área de recepción de pedidos de caja fraccional es separada de la información restante. A partir de esta información, los artículos pueden clasificarse según el número de pedidos en los que aparece el pedido (representando viajes de recolección de pedidos) y por tamaño del artículo. También se obtiene el inventario mantenido para cada artículo, pero no a partir de la información de ventas. Esta información podrá entonces ser utilizada para calcular asignaciones de disposición por popularidad, por volumen o por índice de volumen por pedido (índice cúbico por pedido).

Otra distribución sería la de la correlación de demanda. Aquí, los artículos más frecuentemente solicitados juntos se clasifican desde la frecuencia más alta de ocurrencia hasta la más baja. Esto establece la complementariedad de artículos que sugiere aquellos artículos que deberán ubicarse en forma adyacente entre sí. De igual manera, la información puede analizarse para identificar patrones estacionales con el propósito de ubicar artículos dentro de la misma zona que tengan patrones estacionales opuestos. Al ubicar estos artículos, se reducen los requerimientos de espacio de almacenamiento.

No todas las áreas del almacén requieren la identificación de perfiles de actividad. Una vez que el tamaño general del área se ha establecido a partir de un análisis estadístico de primer nivel, la disposición podrá ser una cuestión de conveniencia y buen juicio. El área para mercancía promocional cuenta con productos adquiridos en cantidades que exceden las cantidades normales de reabastecimiento y que se almacenan en forma temporal hasta que las ventas mediante una agresiva fijación de precios las agotan. La naturaleza incierta de los bienes y de sus requerimientos de espacio dentro del área promocional sugiere que no se requiere una planeación sistemática de la disposición. La identificación de perfiles de actividad resulta más benéfica cuando los costos de manejo son altos, se almacenarán muchos artículos y existen diferencias sustanciales en las características físicas de los artículos.

Figura 12-9
Alternativas de posicionamiento de tarimas de carga



Disposición de las existencias

La eficiencia dentro del almacén también puede mejorarse mediante el acomodo de las existencias en bahías de almacenamiento. El acomodo es una consideración importante donde se utiliza almacenamiento por tarimas de carga, y su uso es una práctica común en muchas operaciones de almacén.

El acomodo específicamente se refiere al ángulo con el que se colocan las tarimas de carga en relación con el pasillo de servicio. El acomodo más utilizado es el de tarimas en ángulo recto, o de 0 grados de la figura 12-9(a). La mayor parte de los operadores de almacén prefieren el acomodo de tarimas en ángulo recto. Como alternativa, las tarimas de carga pueden colocarse en cierto ángulo con respecto de la línea central del pasillo de servicio, como en la figura 12-9(b). La orientación en "ángulo" no es muy utilizada en los almacenes, quizá debido a la continua controversia de si se obtiene alguna eficiencia del acomodo angular. La controversia puede verse en estudios que han sugerido ángulos desde 0 hasta 60 grados como los mejores.[26] Más importante que un ángulo general sugerido son las cuestiones involucradas en el uso de acomodo angular y la forma como puede determinarse el ángulo correcto, ya sea o no de 0 grados.

[26] Joseph J. Moder, Herbert M. Thorton, "Quantitative Analysis of Factors Affecting Floor Space Utilization of Palletized Storage", *Journal of Industrial Engineering*, Vol. 16 (enero-febrero de 1965), págs. 8-18; Donald J. Bowersox "Resolving the Pallet Controversy", *Transportation and Distribution Management* (abril de 1963), págs. 27-31; y Ronald H. Ballou, "The Consideration of Angular Pallet Layout to Optimize Warehouse Space Utilization" (tesis de maestría. The Ohio State University, 1963).

Quienes se oponen a la orientación en ángulo se quejan de que se deja espacio sin utilizar al frente, atrás y a los lados de la bahía [ver figura 12-9(b)]; que la configuración de columna, la configuración del edificio y el área de piso ponen limitantes sobre la implantación de un plan de acomodo angular; que las tarimas anguladas son más difíciles de ubicar dentro de la bahía al ángulo correcto; y que los pasillos de un sentido que resultan en forma natural contribuyen a mayores costos de manejo de materiales. Quienes están a favor de la orientación angular, por otro lado, argumentan que la reducción en la amplitud de los pasillos debido a la vuelta menor a 90 grados requerida por un montacargas que atiende una tarima de carga compensa por más el espacio no utilizado dentro de la bahía de almacenamiento. Además, se obtiene cierta eficiencia de operación debido a que el montacargas realiza una vuelta menor de 90 grados para colocar o recuperar una tarima.

La resolución de esta controversia será principalmente cuestión de balancear las consideraciones de utilización de espacio contra las eficiencias de manejo de materiales. Se ha analizado el efecto del acomodo angular sobre los requerimientos totales de espacio y se encuentran disponibles fórmulas o cálculos para determinar el ángulo exacto para cualquier combinación de tamaño de tarima, configuración de bahía y montacargas.[27] El efecto del acomodo angular sobre la eficiencia operativa puede determinarse a partir de un estudio de tiempos para las operaciones de un montacargas bajo diferentes ángulos de tarima. Al convertir las medidas de espacio y tiempo a términos económicos, decimos que podremos encontrar el ángulo que genere el menor costo.

Métodos de identificación de localizador de existencias

Una importante consideración de diseño que puede afectar de manera sustancial la eficiencia del manejo de materiales es el método utilizado para identificar la localización de la mercancía dentro de las bahías de almacenamiento. Los métodos de localizador fijo y de localizador aleatorio son dos esquemas opuestos de identificación y localización.

Considere un problema común de localización. Cuando los bienes arriban al almacén, deben colocarse en una bahía de almacenamiento en algún lugar dentro del almacén. Cuando se despacha un pedido, deben encontrarse los bienes apropiados y recuperarse de la ubicación de almacenamiento. ¿Cómo puede lograrse esto con eficiencia cuando los productos actuales muestran crecientes y decrecientes niveles de inventario debido a variaciones de la oferta y la demanda, y cuando la mezcla de productos cambia debido a adiciones y eliminaciones de la línea de productos?

El *método de identificación de localizador fijo* asigna un número dado de bahía de almacenamiento o de estante de almacenamiento a cada producto. Estas ubicaciones pueden determinarse a partir de los métodos de localización de inventario (por popularidad, ICP y similares) ya analizados. Este método de identificación de localizador es simple, y no se requiere un código formal para identificar las ubicaciones si sólo se almacenan unos cuantos artículos. El personal que coloca y recupera las existencias puede simplemente memorizar las ubicaciones. Si la línea de producto es amplia, se puede crear un código formal para identificar la sección de almacén, el número de bahía y el espacio.

La principal desventaja de este método es que se puede crear mucho espacio subutilizado. La capacidad de espacio debe establecerse para los requerimientos pico de inven-

[27] Ver Moder y Thorton, "Quantitative Analysis of Factors Affecting Space Utilization of Palletized Storage"; y Ronald H. Ballou, "Pallet Layout for Optimum Space Utilization", *Transportation and Distribution Management* (febrero de 1964), págs. 24-33.

tario de cada producto. Ya que los niveles pico de inventario de los productos en general no se presentan simultáneamente, se puede generar una baja utilización del espacio.

El *método de identificación de localizador aleatorio* está diseñado para superar la desventaja del método de identificación de localizador fijo. Cuando los bienes arriban al almacén, éstos se dirigen hacia cualquier espacio abierto que esté disponible. No existen ubicaciones preasignadas. Este método ofrece un mejor uso del espacio disponible de almacenamiento, pero para mantener el registro de muchos artículos, cuando cada uno de ellos puede localizarse en distintos lugares, requiere un código de recuperación efectivo. Debido al patrón de disponibilidad de desplazamiento continuo del espacio dentro del almacén, se requiere un elaborado sistema manual o computarizado de catalogación del inventario que apoye esta forma de operación.

Aunque el método de identificación por localizador aleatorio ofrece una mejor utilización de espacio, por lo general se observan mayores tiempos de recorrido, ya que un solo artículo sobre un pedido puede requerir recolección desde varias ubicaciones. Este método, y versiones modificadas de él, ha sido popular en sistemas automatizados de almacenamiento y recuperación, donde los costos de espacio son altos en relación con los costos de manejo.

En sistemas de alto volumen y de manejo por tarimas, ha resultado práctica una mezcla de los dos métodos. Una modificación popular es limitar artículos a zonas designadas dentro del almacén, como lo sugieren los métodos de localización de inventario. Dentro de estas zonas, los productos se pueden almacenar sobre una base de espacio disponible.

Ejemplo

Un distribuidor de acero aprovechó la idea de zonas designadas para almacenar sus productos en forma de rollos y hojas. El área de almacenamiento se dividió en un número de áreas más pequeñas a las que se asignaron identificadores de color: rosa, violeta, naranja, etcétera. Los colores proporcionaron fácil identificación de cada área y del producto dentro de ellas. Al producto almacenado dentro de un área dada se le permitió "flotar" sin un lugar asignado de forma específica. Aunque el producto se podía desplazar de forma aleatoria dentro de su área designada, el área no era grande como para que el producto se pudiera fácilmente perder proporcionando al mismo tiempo una buena utilización de espacio.

Operaciones de recolección de pedidos

La naturaleza intensiva de mano de obra en la recolección de pedidos la hace un blanco para mejoras de productividad. Varias consideraciones operacionales pueden mejorar la eficiencia del manejo de materiales.

Manejo de pedidos

La forma como se maneja el pedido entrante afecta a los costos de manejo. La generación de listas de recolector a partir del pedido de ventas puede disminuir los costos.

Secuenciación del producto

La secuenciación es la disposición de artículos en listas de rutas de recolección de forma que sean recolectados dentro de una ruta eficiente a través del inventario. Se ahorra tiempo de recolección del pedido al evitar retrocesos a través de pasillos y mercancías. La secuenciación

de los artículos a medida que éstos se presentan sobre el pedido de venta puede requerir la cooperación del personal de ventas y de los clientes para enumerar los artículos en el orden establecido. En forma alternativa, un método popular es el uso de computadoras para dar una secuencia a los artículos de pedidos de ventas en listas de recolección eficientes.

Recolección por zonas

La división por zonas se refiere a la asignación de recolectores de pedidos individuales para atender sólo un número limitado de artículos de inventario en vez de dirigirlos a través de la disposición de inventario completa. Un recolector de pedido selecciona sólo el inventario dentro de un área designada y por lo general surte sólo una parte del pedido total del cliente. Para lograr bajo costo de manejo de materiales (reducir la fatiga del recolector y maximizar el rendimiento), se requiere poner cuidadosa atención a varios factores. Primero, el inventario debe estar ubicado dentro de las zonas del recolector de acuerdo con la frecuencia de pedido, complementariedad, peso del artículo, posición en anaquel y volumen del artículo de manera que las cargas de trabajo del recolector entre las zonas estén balanceadas. Segundo, el pedido de ventas debe ser descompuesto en listas de recolector por cada zona. Tercero, las distintas partes del pedido deben ser ensambladas en un pedido completo antes de abandonar el almacén. Si el surtimiento del pedido procede en forma secuencial de una zona a la otra para evitar el problema de reensamblado cuando las zonas están dispersas, entonces el ritmo de recolección de pedido se vuelve dependiente del ritmo de recolección de pedidos en las otras zonas.

Aunque la recolección por zonas ha sido el método más popular para dividir la carga de trabajo dentro de almacenes de alto rendimiento, está surgiendo una filosofía alterna. Se deriva de la "inteligencia de enjambre", el comportamiento colectivo de los insectos sociales como las hormigas, las abejas y las avispas.[28] Al observar la forma como las hormigas desplazan el alimento desde la fuente hasta el nido, se presenta la "brigada de cubetas". Es decir, las hormigas pasan la comida de un miembro al otro a lo largo de una cadena de recolección de comida. Las hormigas no son estacionarias y los puntos de transferencia no son fijos. Iniciando con la fuente de alimento, una hormiga transporta la comida a lo largo de la cadena hasta que alcanza a la siguiente hormiga. Después de transferir el alimento, regresa sobre la cadena hasta que alcanza a la hormiga anterior para recibir la siguiente carga. Este proceso continúa a lo largo de la cadena de múltiples hormigas donde las ubicaciones fijas son sólo la fuente del alimento y el nido.

La inteligencia de enjambre se ha aplicado a la recolección de pedidos en grandes centros de distribución, donde se ha reportado una mejora del 31% por encima del método de zonas.[29] El método de zonas no reconoce la amplia variación en la velocidad a la que el recolector cumple sus tareas. La persona más rápida puede llegar a ser cuatro veces más rápida que la más lenta. Esto tiende a subutilizar a la gente rápida y a exacerbar a los lentos quienes están bajo presión para mantener el ritmo. Incluso, si todos trabajaran al mismo ritmo, la variación normal para completar las labores en cada zona haría difícil balancear la carga de trabajo. El mejor método resulta si un trabajador en la parte superior de una cadena de atención de pedidos continúa recolectando artículos sobre el pedido hasta que la persona en un nivel inferior de la cadena toma todo el trabajo; luego, se dirige de vuelta hacia arriba de la cadena para tomar el trabajo de otra persona. La forma

[28] Eric Bonabeau, Christopher Meyer, "Swarm Intelligence: A Whole New Way to Think About Business", *Harvard Business Review*, Vol. 79, Núm. 5 (mayo de 2001), págs. 106-114.
[29] Íbid.

óptima de acomodar a los trabajadores es iniciar en la parte superior de la cadena y ubicarlos en la secuencia del *más lento al más rápido*.

División del pedido

La división del pedido es una extensión de las ideas de la recolección por zona. Cuando el inventario no reside en una sola ubicación, es necesario dividir el pedido de venta antes de dirigirlo a un almacén.

Aplicación

Farmacias Rico recibe pedidos semanales de reabastecimiento por parte de sus tiendas detallistas. Los pedidos son primero divididos entre mercancía de acceso sin receta médica (OTC) y farmacéuticos. Los farmacéuticos son almacenados en una ubicación del país. El resto del pedido se envía al centro de distribución local donde se almacena la mercancía OTC. El pedido se divide aún más entre la mercancía a granel, la cual es almacenada en un almacén público y el resto se mantiene en una instalación arrendada. El flujo de mercancía se coordina desde estas ubicaciones separadas, de manera que el pedido llegue a la tienda detallista en el tiempo prometido. El rotulado y etiquetado de los artículos, así como el rastreo por computadora de los artículos del pedido dividido, se vuelven críticos para lograr la coordinación general del pedido.

Procesamiento por lotes

El procesamiento por lotes es la selección de más de un pedido en un solo paso a través de las existencias. Esta práctica obviamente reduce el tiempo de recorrido, pero también añade la complicación de reensamblar pedidos y pedidos parciales para su envío. También puede incrementar el tiempo de surtido de un pedido para cualquier pedido, ya que su cumplimiento depende del número y tamaño de los otros pedidos dentro del lote.

Distribución intercalada

Un problema especial en las operaciones de recolección de pedidos es cuando el almacenamiento y la recolección ocurren al mismo tiempo sobre la misma ruta desde el mismo punto de origen-destino. Esto se ha denominado *distribución intercalada*, y es un problema común que se encuentra en los sistemas automáticos de almacenamiento y recuperación. Para la asignación aleatoria de almacenamiento, donde cualquier estante abierto se selecciona para almacenamiento, una regla común es elegir la ubicación abierta más cercana al punto de origen-destino. Sin embargo, una regla de almacenamiento-recuperación basada en la rotación (popularidad) ha demostrado reducir sustancialmente el tiempo de recorrido promedio para solo almacenamiento o para intercalado.[30]

Establecimiento de estándares

Los altos niveles de eficiencia de manejo de materiales no pueden garantizarse mediante la sola aplicación de reglas, conceptos o métodos de optimización. El trabajador es un ingrediente importante en la ecuación de costo total. Los estándares de desempeño son im-

[30] Leroy B. Schwarz, Stephen C. Graves, Warren H. Hausman, "Scheduling Policies for Automatic Warehousing Systems: Simulation Results", *AIIE Transactions*, Vol. 10, Núm. 3 (septiembre de 1978), págs. 260-270.

portantes para proporcionar normas, de manera que un número razonable de trabajadores pueda asignarse al trabajo de almacenamiento para proporcionar un estándar de comparación (benchmark) contra el que pueda juzgarse un desempeño superior o por debajo del estándar, y para proporcionar un salario base para sistemas de incentivos, de modo que la mayor productividad pueda ser recompensada.

COMENTARIOS FINALES

Este capítulo trata de la planeación del diseño y operación de las instalaciones de almacenamiento con énfasis en el almacén. Los responsables de la logística tendrán necesidades variantes de este material, dependiendo de la forma como se proporcione el almacenamiento en sus empresas. Si se utiliza almacenamiento público, los administradores del almacén público planean la operación y las empresas del usuario evalúan las tarifas y servicios sobre una base comparativa con otras empresas de almacenamiento público. En el otro extremo de la escala, si el espacio de almacenamiento es propiedad de la compañía, los responsables de la logística enfrentarán el rango completo de decisiones de diseño y operaciones del almacén.

El análisis se centra en las distintas decisiones de planeación relacionadas con los principales problemas de espacio y de manejo de materiales, una vez que se conoce la ubicación general del almacén. Estas principales decisiones incluyen el tamaño y el acuerdo financiero de la estructura, la configuración de la instalación, la disposición del espacio, el diseño de las plataformas, la selección de los sistemas de manejo de materiales, el reemplazo del equipo, la distribución del inventario, los métodos de identificación y localización del inventario y las operaciones de recolección de pedidos. Se ilustran conceptos así como modelos matemáticos para la toma de decisiones. Aunque las decisiones de almacenamiento y manejo de materiales se presentan aquí como aparentemente independientes entre sí, y del sistema logístico como un todo, se advierte al responsable de logística no perder de vista el impacto económico que cada uno de los problemas de decisión de almacén observados ejercerá sobre las demás decisiones externas a su ámbito inmediato. Se sugieren los perfiles de actividad como un medio para proporcionar la información inicial necesaria para el diseño del almacén.

PREGUNTAS

Algunos problemas en este capítulo pueden resolverse completa o parcialmente con la ayuda de software de computadora. Los paquetes de software de LOGWARE que son más importantes para este capítulo son LNPROG *(LP)* y LAYOUT *(LO)*. El icono del CD

aparecerá con la designación del paquete de software cuando el análisis del problema esté apoyado por uno de estos programas de software. Puede estar preparada una base de datos para el problema si se requiere amplia información de entrada. Cuando el problema pueda ser resuelto sin la ayuda de la computadora (a mano), se mostrará el icono de la mano. Si no aparece ningún icono, se asumen cálculos manuales.

1. Un almacén se ubicará en algún lugar de su ciudad de residencia. ¿Qué factores cree usted que deben evaluarse al tomar la decisión del sitio particular?

2. La compañía fabricante Acme está preocupada por sus necesidades de almacenamiento y por la mejor forma de atenderlas. La compañía produce una línea de partes de repuesto para electrodomésticos. Debido a la combinación de políticas de producción y patrones de demanda, los requerimientos de espacio de almacenamiento varían de forma considerable durante el año. Los requerimientos de repuestos se conocen con una gran certidumbre ya que la línea de producto atienden un mercado de reemplazos. No se anticipa crecimiento, o declive en la producción y ventas en el futuro cercano. Los montos de ventas mensuales para una año típico son los siguientes:

Mes	Ventas, $
Ene.	5,000,000
Feb.	4,000,000
Mar.	3,000,000
Abr.	2,000,000
May.	1,000,000
Jun.	250,000
Jul.	1,250,000
Ago.	2,250,000
Sep.	3,000,000
Oct.	3,500,000
Nov.	4,000,000
Dic.	4,500,000
Total	33,750,000

El inventario del almacén cambia a un ritmo de dos veces por *mes*. La mercancía con valor de un dólar ocupa 0.1 pies cúbicos de espacio de almacén y puede ser apilada 10 pies de altura. La densidad de producto es $5 por libra. Dados los pasillos, el espacio administrativo y la eficiencia de operación normal, sólo 40% del espacio total de almacén es utilizado para almacenamiento.

Se puede construir y equipar un almacén privado por $35 por pie cuadrado, y puede amortizarse durante 20 años. El costo de operación es de $0.02 por dólar de utilización (lbs). El monto de los costos fijos anuales es de $10 por pie cuadrado de espacio total. También puede rentarse espacio por un cargo de almacenamiento sobre el inventario de $0.06 por libra por mes y un cargo de manejo de $0.05 por libra de utilización.

¿De qué tamaño deberá construirse el almacén privado, en cantidad aproximada en incrementos de 10,000 pies cuadrados, o de qué tamaño deberá rentarse el almacén público? ¿En qué medida y cuándo deberá utilizarse cada tipo de espacio?

3. O'Neal Consumer Products requiere 150,000 pies cuadrados de espacio de almacenamiento para su mercado de la Costa Este, donde las ventas anuales son de $30'000,000. Si se utiliza un almacén público, los costos anuales pueden estimarse en $600,000 por manejo y en $300,000 por almacenamiento. Si se utiliza espacio arrendado, el costo anual de arrendamiento es de $3 por pie cuadrado por un arrendamiento de 10 años. El costo de operación del espacio arrendado es de $250,000 por año. El equipo y los costos de arranque son de $400,000, lo cuales pueden depreciarse sobre un periodo de siete años. Se utilizará un programa de depreciación de línea recta.

La compañía exige un rendimiento sobre los proyectos de 11% después de impuestos, y sus impuestos federales son de 35% por año.

¿Qué alternativa tiene el mejor sentido económico?

4. Un almacén privado tiene utilización de 10,000 artículos y un costo promedio de manejo de materiales por artículo de $0.01/pie. El tamaño del almacén debe ser de 100,000 pies cuadrados. Los costos anuales de construcción y mantenimiento son de $210/pie de perímetro. La plataforma de carga y descarga se localizará en la esquina del almacén. ¿Cuál es la mejor longitud y amplitud del almacén? ¿Cuál es el costo relevante de este diseño?
5. Utilizando la información proporcionada en el ejemplo de la disposición de espacio del capítulo, diseñe la disposición y las dimensiones de longitud y amplitud de un almacén del tipo de la figura 12-4(a).
6. Un centro de distribución de alimentos realiza entregas a tiendas de alimentos sobre una base semanal. En promedio, 75 tiendas se atienden diariamente. Una tienda típica levanta un pedido por 12,000 lbs de distintos productos. Se pueden colocar tres pedidos de tiendas sobre un camión de entrega. Los camiones se cargan en tres horas. El centro de distribución opera en turnos de ocho horas.

   ¿Cuántas puertas para camión se necesitan en promedio?
7. Una empresa utiliza varios montacargas de pasillo angosto y puede adquirirlos en tres tipos. El tipo 1 cuesta $20,000 cada uno; el tipo 2 cuesta $10,000 cada uno; y el tipo 3 cuesta $5,000 cada uno. Tales equipos pueden venderse al final de su vida útil (diez años) por 15% de su costo original. Los costos de operación anuales para cada tipo de equipo son de $2,000, $2,500 y $3,000, respectivamente, por camión. Tres unidades del tipo 1 pueden realizar el trabajo de cinco unidades del tipo 2 o de siete unidades del tipo 3. Si las inversiones deben generar 20% de rendimiento antes de impuestos por camión, ¿qué tipo de equipo se recomienda adquirir?
8. Cierto montacargas para pasillo angosto cuesta $4,000. Cuando se reemplace, se hará por un montacargas del mismo tipo. Los costos de operación para este montacargas son de $500 para el primer año y se incrementan a un ritmo de $40 por año al *cuadrado* en lo sucesivo. Las mejoras tecnológicas reducen los costos de operación en un estimado de $30 por año. El valor de rescate de los montacargas declina en forma lineal durante su vida de siete años. La tasa de rendimiento deseada debe ser de 20% antes de impuestos.

   ¿Cuándo deberá reemplazarse el equipo?

9. Suponga que un almacén contiene ocho bahías de almacenamiento. El producto ingresa por la parte trasera del almacén a través de un andén de ferrocarril. El producto se recoge desde las ubicaciones de almacenamiento mediante selección de ida y vuelta, y se despacha desde una plataforma de camión al frente del edificio (vea el diseño en la figura 12-6). Cada bahía puede almacenar 2,500 pies cúbicos con el producto apilado a 10 pies de altura. Se mantienen 10 productos dentro del almacén. Se ha reunido la siguiente información:

Producto	Espacio de almacenamiento requerido (pies cuadrados)	Tamaño individual del producto (pies cúbicos)	Número promedio de pedidos diarios en los que aparece el artículo
A	500	1.5	56
B	3,000	10.6	103
C	1,500	4.3	27
D	1,700	5.5	15
E	5,500	2.7	84
F	1,100	15.0	55
G	700	9.0	26
H	2,800	6.7	45
I	1,300	3.3	94
J	900	4.7	35

a. Distribuya el almacén utilizando: 1) el método por popularidad; 2) el método por volumen, y 3) el método del índice cúbico por pedido.
b. ¿En qué grado son apropiados estos métodos cuando más de un artículo se recolecta sobre una ruta, y cuando los recolectores están distribuidos por zonas para recolectar sólo una parte limitada de la línea de producto en cada pedido?

10. La compañía Able es una división local de una gran empresa de almacenamiento público. La administración de esta compañía ha aplicado exitosamente las técnicas de la administración científica en el pasado y actualmente está analizando su problema de disposición para ver si ésas técnicas pueden indicar si se pueden realizar ahorros de costos en ésa área. La compañía ha seleccionado un almacén particular para consideración. Este almacén tiene dos plataformas de recepción (R_1 , R_2) y una plataforma de despacho (S_1). Los tres principales productos manejados por el almacén se almacenan en seis bahías de almacenamiento.

La dirección de la empresa observa que debido a los tamaños de pedidos, las ubicación de recepción, las cantidades recibidas, etcétera, se requieren distintos tiempos para suministrar y distribuir desde una bahía de almacenamiento, y estos tiempos de servicio dependen del producto en particular y de la ubicación de la bahía de almacenamiento dentro del almacén. Existe una relación directa entre los costos de manejo y los tiempos de manejo para cada producto y bahía de almacenamiento.

TIEMPOS DE ALMACENAMIENTO (HR.)[a] POR 100 UNIDADES DE PRODUCTO ALMACENADO EN DISTINTAS BAHÍAS

Bahía de almacenamiento	1	2	3
1	0.90	0.75	0.90
2	0.80	0.65	0.95
3	0.60	0.70	0.65
4	0.70	0.55	0.45
5	0.50	0.50	0.45
6	0.40	0.45	0.35

[a] Para un periodo de tres meses

Cada bahía de almacenamiento tiene cierta capacidad, dependiendo del producto. Se conoce la siguiente información sobre la capacidad de la bahía de almacenamiento.

Producto	Capacidad de la bahía de almacenamiento (unidades)
1	5,000
2	3,000
3	6,000

La administración de la empresa pronostica que debe planear espacio de almacenamiento al menos para 11,000 unidades del producto 1; 4,000 unidades del producto 2, y 12,000 unidades del producto 3 durante los siguientes tres meses. El problema de decisión es cómo asignar los productos a las distintas bahías de almacenamiento (en las cantidades adecuadas) de manera que se minimice el tiempo total de manejo (costo) requerido para todos los productos. (*Consejo:* Resuelva como problema de programación lineal utilizando el siguiente modelo:)

Función objetivo

$$z_{\min} = \sum_i \sum_j C_{ij} X_{ij}$$

sujeta a

$$\sum_j \frac{1}{G_j} X_{ij} \leq 1.0 \text{ para } i = 1, 2, \ldots, M$$

y

$$\sum_i X_{ij} \geq R_j \text{ para } j = 1, 2 \ldots, N$$

donde

G_j = capacidad de la bahía para el producto j
R_j = número de unidades del producto j requeridas para almacenarse
M = número de localidades de almacenamiento
N = número de productos

11. ¿Qué ventajas y desventajas están involucradas en el acomodo angular de tarimas de carga? ¿Qué consideraciones adicionales deben tomarse en cuenta en la decisión de utilizar acomodo angular de tarimas?
12. ¿Qué métodos alternativos de ubicación y recuperación de inventario puede usted imaginar? Analice las ventajas y desventajas de los métodos que proponga.
13. Un fabricante líder de productos domésticos de hule y vinil utiliza un sistema aleatorio de localizador-recuperación de inventario en su almacén de planta. Todos los pedidos en el país se atienden mediante esta ubicación. El diseño interno del almacén muestra anaqueles de siete niveles dispuestos en patrones rectangulares. El sistema de manejo de materiales requiere montacargas de pasillo angosto y almacenamiento por tarimas. ¿Por qué encontraría esta empresa un sistema de manejo de materiales de almacenamiento con ventaja por encima de los otros tipos?
14. Un almacén de partes tiene dos tipos de áreas de almacenamiento. El primer tipo es por carruseles que tienen muchos depósitos en los que se colocan los artículos pequeños y frecuentemente solicitados. Los artículos restantes se colocan en estantes de almacenamiento (segundo tipo), desde donde los artículos se recuperan utilizando montacargas. ¿Qué distribuciones de información construiría usted y cómo las utilizaría (perfiles por actividad) para determinar el tamaño del espacio de carrusel/estante de almacenamiento? Luego, ¿cómo se utilizaría la información de distribución para acomodar los artículos dentro de estas áreas?
15. Para la recolección de pedidos dentro de un almacén, contraste el método por zonas con el método de brigada de cubetas.

Apéndice

Suplemento técnico

A continuación se presenta el cálculo general de programación lineal para el problema de la disposición de producto que involucra tanto al área de almacenamiento de reserva como de recolección de pedidos:

El objetivo es minimizar el costo total de manejo de materiales, es decir,

$$z_{\min} = \sum_{i=1}^{M} \sum_{j=1}^{N} C_{ij} X_{ij}$$

sujeto a

1. una restricción de la capacidad de bahía de sección de reserva:

$$\sum_{j=1}^{N} \frac{1}{G_j^s} X_{ij} \leq 1.0 \text{ para } i = 1, 2, \ldots, L$$

2. una restricción de capacidad de bahía de sección de ensamblado

$$\sum_{j=1}^{N} \frac{1}{G_j^a} X_{ij} \leq 1.0 \quad \text{para } i = L + 1, L + 2, \ldots, M$$

3. Número mínimo de unidades de cada producto que se almacenarán en la sección de ensamblado

$$\sum_{i=L+1}^{M} X_{ij} \geq R_j^a \text{ para } j = 1, 2, \ldots, N$$

4. Número total de unidades que se almacenarán a lo largo del almacén:

$$\sum_{i=1}^{M} X_{ij} \geq R_j \text{ para } j = 1, 2, \ldots, N$$

5. Una cantidad negativa de producto *j* no puede almacenarse:

$$\text{para toda} X_{ij} \geq 0$$

donde

X_{ij} = cantidad de producto *j* almacenado en la bahía
C_{ij} = costo de manejar el producto *j* cuando se almacena en la bahía *i*
M = número de bahías de almacenamiento en ambas secciones de reserva y ensamblado
N = número de artículos diferentes de inventario que maneja el almacén
L = número de bahías de almacenamiento dentro de la sección de reserva
G_j = cantidad del producto *j* que puede almacenarse en una bahía
R_j = cantidad requerida del producto *j* que se almacenará en el almacén
R_j^a = cantidad mínima de producto *j* que se almacenará en la sección de ensamblado

s y *a* = supraíndices para denotar las secciones de reserva y ensamblado, respectivamente

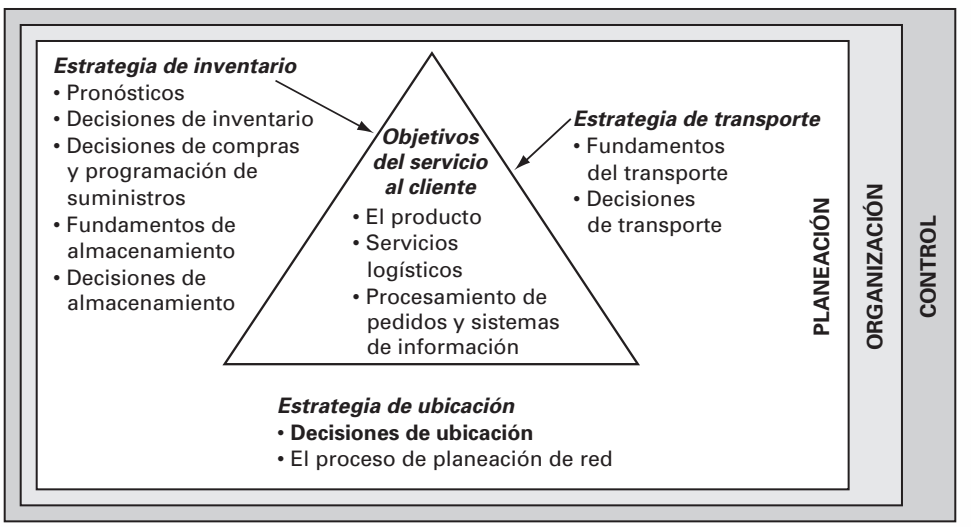
Capítulo 13

Decisiones sobre la ubicación de instalaciones

La experiencia muestra que los hombres en gran medida son gobernados por lo que están acostumbrados a ver y practicar, que las más simples y evidentes mejoras en las labores más ordinarias se adoptan con indecisión, resistencia y gradualmente.

—ALEXANDER HAMILTON, 1791

La ubicación de instalaciones fijas a lo largo de la red de la cadena de suministros es un importante problema de decisión que da forma, estructura y configuración al sistema completo de la cadena de sumi-



nistros. Este diseño define las alternativas junto con sus costos asociados y niveles de inversión utilizados para operar el sistema. Las decisiones sobre ubicación implican determinar el número, ubicación y tamaño de las instalaciones que se utilizarán. Estas instalaciones incluyen puntos nodales dentro de la red, como plantas, puertos, proveedores, almacenes, puntos de venta al menudeo y centros de servicio (puntos dentro de la red de la cadena de suministros, donde los bienes temporalmente se detienen en su trayecto hacia los clientes finales.

El desarrollo de métodos para ubicar las instalaciones ha sido un área popular de investigación.[1] En este capítulo observaremos un número seleccionado de los métodos disponibles para la planeación estratégica de la red. La atención se concentrará en aquellos métodos que: 1) sean representativos de los tipos de métodos de solución disponibles; 2) aborden una variedad de problemas comunes de ubicación del negocio, y 3) ilustren los aspectos que enfrentan quienes son responsables de tomar las decisiones en cuanto a la planeación de la red de trabajo.

Clasificación de los problemas de ubicación

Al analizar los métodos de ubicación resulta útil clasificar los problemas de ubicación en varias categorías, es decir, por: 1) fuerza impulsora; 2) número de instalaciones; 3) discreción de las opciones; 4) grado de acumulación de la información, y 5) horizonte de tiempo.

Fuerza impulsora

La ubicación de instalaciones por lo regular es determinada por un factor crítico. En el caso de ubicación de planta y almacén, en general dominan los factores económicos. Para la ubicación de venta al menudeo, el factor determinante con frecuencia es el ingreso generado por una ubicación, con los costos del sitio restados de los ingresos para determinar la rentabilidad. Si se situara una operación de servicio (hospitales, cajeros automáticos, centros de colecta para caridad o instalaciones de mantenimiento), la accesibilidad al sitio puede ser el principal factor de ubicación, en especial cuando el ingreso y los costos no pueden determinarse fácilmente.

Número de instalaciones

Ubicar una instalación es un problema considerablemente diferente a ubicar muchas instalaciones en un momento. Ubicar una sola instalación evita la necesidad de considerar las fuerzas competitivas, la división de la demanda entre instalaciones, los efectos de consolidación de inventario y los costos de instalación. Los costos de transportación por lo regular son la principal consideración. La ubicación de una sola instalación es el más simple de los dos tipos de problemas.

Lo discreto de las opciones

Mediante algunos métodos se analizará toda ubicación posible a lo largo de un espacio continuo y se seleccionará la mejor. Estos se denominan métodos de ubicación *continuos*.

[1] Para una investigación de muchos de estos métodos, vea Margaret L. Brandeau, Samuel S. Chiu, "An Overview of Representative Problems in Location Research", *Management Science,* Vol. 35, Núm. 6 (junio de 1989), págs. 645-674; y Zvi Drezner, *Facility Location* (Nueva York: Springer-Verlag, 1995).

Alternativamente, los métodos de ubicación pueden seleccionar de una lista de posibles alternativas que se han identificado de acuerdo con criterios de sensatez. Estos son métodos de ubicación *discretos*. Los últimos se utilizan con mayor frecuencia en la práctica, principalmente para ubicación de múltiples instalaciones.

Grado de acumulación de datos

Los problemas de ubicación típicamente involucran la evaluación de un número extremadamente grande de configuraciones de diseño de red. Para manejar el tamaño del problema y obtener una solución, por lo general es necesario utilizar relaciones de información acumulada para resolver un problema práctico de ubicación. Esto da por resultado métodos cuya precisión limita las ubicaciones a amplias áreas geográficas, como ciudades enteras. Por otro lado, los métodos que utilizan baja acumulación de información, en especial aquellos para la selección del sitio, pueden diferenciar entre ubicaciones separadas solamente por una calle. Los últimos son particularmente necesarios para la ubicación de tiendas minoristas, ubicaciones dentro de ciudades, y para tomar las decisiones finales para el sitio de planta y de almacén.

Horizonte de tiempo

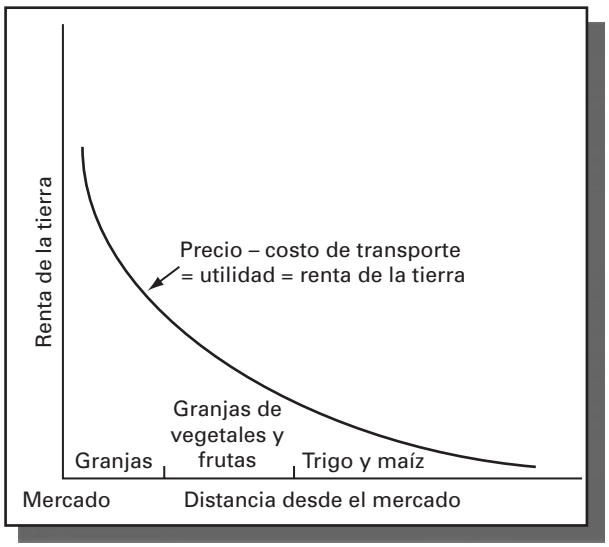
La naturaleza del tiempo de los métodos de ubicación será estática o dinámica. Es decir, los métodos estáticos localizan ubicaciones con base en información para un solo periodo, como un año. Sin embargo, los planes de ubicación pueden cubrir muchos años a la vez, en especial si las instalaciones representan una inversión fija y los costos de reubicar de un sitio a otro son altos. Los métodos que manejan la planeación de la ubicación para múltiples periodos se denominan dinámicos.

Perspectiva histórica de la ubicación[2]

Muchas de las primeras teorías sobre ubicación fueron postuladas por economistas agrarios y geógrafos regionales, como Johann van Thünen,[3] Alfred Weber,[4] T. Palander,[5] August Lösch,[6] Edgar Hoover,[7] Melvin Greenhut[8] y Walter Isard.[9] Un tema común a lo largo de todos estos primeros trabajos era la importancia de los costos de transportación para determinar la ubicación. Aunque mucho del trabajo se realizó en una sociedad agraria e industrial temprana, varios conceptos presentados aún son aplicables. Considere una breve reseña de sólo algunos de ellos.

[2] Para una revisión de la historia de la modelación de ubicación, vea T. Puu, *Mathematical Location and Land Use Theory* (Nueva York: Springer-Verlag, 1997).
[3] Johann Heinrich von Thünen, *Der Isolierte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft und Nationalökonomie*, 3a. ed. (Berlín: Schumacher-Zarchlin, 1875).
[4] Alfred Weber, *Uber den Standort der Industrien* (Mohr, Tubinteng, 1909), traducido por Carl J. Friedrich como *Alfred Weber's Theory of the Location of Industries* (Chicago: University of Chicago Press, 1929).
[5] T. Palander, *Beitrage zur Standortstheorie* (Uppsala, 1935).
[6] August Lösch, *Die Raumliche Ordnung der Wirtscaft* (Jena: Gustav Fischer Verlag, 1940).
[7] Edgar M. Hoover, *Location Theory and the Shoe and Leather Industries* (Cambridge, MA: Harvard University Press, 1957).
[8] Melvin L. Greenhut, *Plant Location in Theory and Practice* (Chapel Hill, NC: University of North Carolina Press, 1956).
[9] Walter Isard, *et al*., *Methods of Regional Analysis: An Introduction to Regional Science* (Nueva York: John Wiley & Sons, 1960); y Walter Isard, *Location and Space Economy* (Cambridge, MA: MIT Press, 1968).

Figura 13-1
Curva de renta de Thünen para la tierra.



Curvas de renta-oferta

Thünen reconoció que la renta máxima, o utilidad, que cualquier desarrollo económico podía pagar por la tierra era la diferencia entre el precio de los bienes *dentro* del mercado y el costo de transportar los bienes *hacia* el mercado. Imaginó una ciudad-estado aislada (mercado) situada sobre un plano de igual fertilidad. La actividad económica se ubicaría alrededor de esta ciudad-estado de acuerdo con su capacidad para pagar por la tierra. En una economía agrícola, la actividad agrícola puede localizarse fuera del mercado, como se muestra en la figura 13-1. Actualmente, esta idea parece mantenerse cuando observamos el patrón de ubicaciones de tiendas al detalle, residenciales, de manufactura y agrícolas que rodean a la ciudad central. Estas actividades que pueden pagar más por la tierra se ubicarán lo más cercano al centro de la ciudad y a lo largo de las principales vías de transportación.

Clasificación de las industrias según Weber

Alfred Weber reconoció el papel que tienen las materias primas en el proceso de producción y la forma en que afectan la ubicación. Observó que algunos procesos son de pérdida de peso, como la fabricación de acero. Es decir, la suma de los pesos de las materias primas es mayor que el peso del producto terminado. Se pierde peso en el procesamiento debido a subproductos no utilizables. Por ello, para evitar el envío de subproductos al mercado, tales procesos se atraen hacia las fuentes de sus materias primas con objeto de minimizar los costos de transportación (ver figura 13-2).

Por otro lado, los procesos pueden ser de ganancia de peso. Esto ocurre por lo general cuando ocurren ubicuidades en el proceso. Según Weber, las ubicuidades incluyen a las materias primas disponibles en todas partes, como el aire y el agua. Por ello, para minimizar los costos de transportación mediante el envío de ubicuidades por la menor distancia posible, tales procesos deben ubicarse lo más cercano posible a los mercados (ver

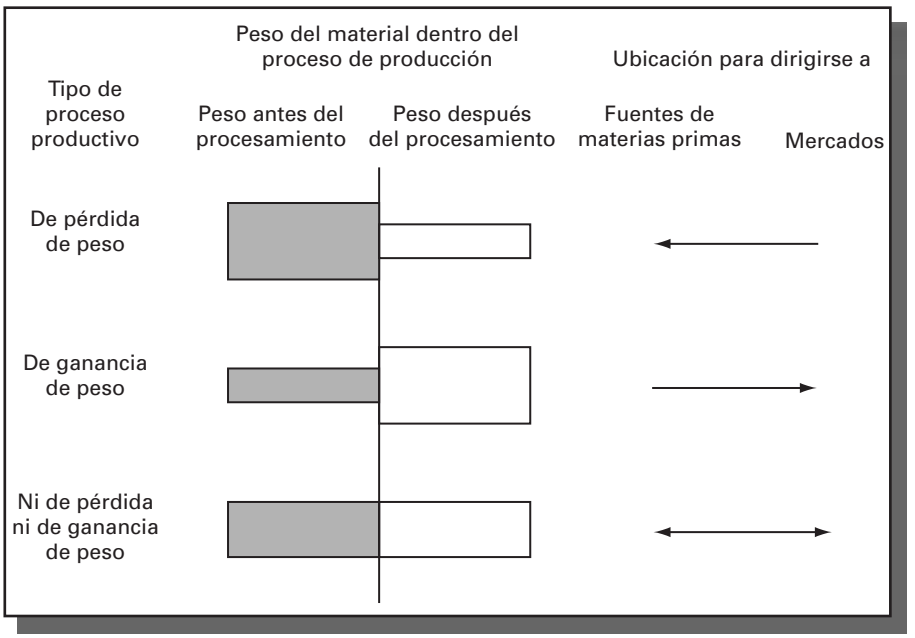


Figura 13-2 Efecto sobre el proceso de ubicación del peso de los productos antes y después del procesamiento.

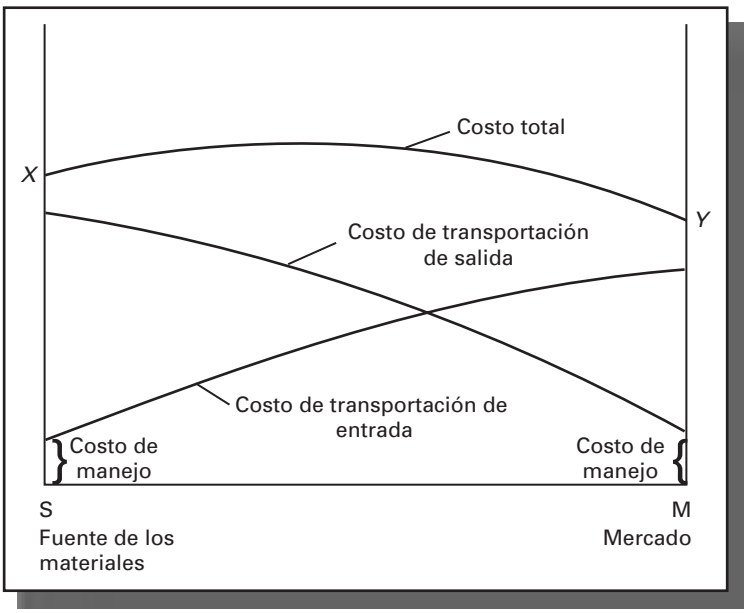
figura 13-2). Un ejemplo de una industria que ubica sus plantas en esta forma es el embotellado de refrescos. Los jarabes se envían a las plantas embotelladoras donde se mezclan con agua. Estas plantas están con frecuencia ubicadas dentro de la región general de los mercados de los productos.

Por último, existen procesos donde no ocurre cambio en el peso entre las materias primas y el producto terminado. Las operaciones de ensamblado son representativas de esta categoría, donde los productos terminados son la suma del peso de las partes y componentes ensamblados en ellos. Tales procesos, de acuerdo con Weber, no están vinculados ni a las fuentes de materia prima ni a los mercados (ver figura 13-2). Es decir, el total de los costos de entrada y de salida es el mismo en toda ubicación entre los puntos de origen y el mercado.

Tarifas de transportación graduales de Hoover

Hoover observó que las tarifas de transportación se ajustan con la distancia. Para minimizar los costos de transportación de entrada más los de salida, cuando sean la motivación dominante para la ubicación, una instalación ubicada entre una fuente de materia prima y un punto de mercado tendrá un costo mínimo de transportación en uno de estos dos puntos. Como se muestra en la figura 13-3, la ubicación entre estos puntos es económicamente inestable. Ya que *Y* es menor que *X* sobre la curva de costos, la ubicación deberá encontrarse en *Y*.

Figura 13-3
Motivación por tarifas graduales de transportación con ubicación hacia la fuente de los materiales o hacia el mercado.



UBICACIÓN DE INSTALACIÓN SENCILLA

Ahora veamos formas contemporáneas para buscar la ubicación de instalaciones. Con la popularidad de las matemáticas aplicadas y las computadoras, estos métodos son de naturaleza matemática más que conceptual. Comenzamos con un modelo popular que se utiliza para ubicar una sola planta, terminal, almacén o punto de menudeo o de servicio. Se conocen diversos modos, como el método exacto de centro de gravedad, la mediana p, el método de cuadrícula y el método del centroide. El método es simple, dado que la tarifa de transportación y el volumen de punto son los únicos factores de ubicación. Este modelo se clasifica matemáticamente como un modelo de ubicación continua estático.

¿Dónde deberá ubicarse la instalación dado un conjunto de puntos que representan los puntos de origen y los puntos de demanda, sus volúmenes que se desplazarán hacia o desde una sola instalación de ubicación desconocida, y sus tarifas de transporte asociadas? Buscaremos minimizar la suma del volumen en un punto, multiplicada por la tarifa de transportación para enviar al punto, multiplicada por la distancia hacia el punto, lo cual será el costo total de transportación.

$$\text{Min } TC = \sum_i V_i R_i d_i \qquad \textbf{(13-1)}$$

donde

TC = costo total de transportación
V_i = volumen en el punto i
R_i = tarifa de transportación al punto i
d_i = distancia al punto i desde la instalación que se ubicará

La ubicación de la instalación se obtendrá al resolver dos ecuaciones para las coordenadas de la ubicación.[10] Estas coordenadas exactas del centro de gravedad son

$$\bar{X} = \frac{\sum_i V_i R_i X_i / d_i}{\sum_i V_i R_i / d_i} \tag{13-2}$$

y

$$\bar{Y} = \frac{\sum_i V_i R_i Y_i / d_i}{\sum_i V_i R_i / d_i} \tag{13-3}$$

donde

$\bar{X}, \bar{Y}$ = puntos de coordenadas de la instalación ubicada
X_i, Y_i = puntos de coordenadas de los puntos de fuente y de demanda

La distancia d_i se estima mediante

$$d_i = K\sqrt{(X_i - \bar{X})^2 + (Y_i - \bar{Y})^2} \tag{13-4}$$

donde K representa un factor de escala para convertir una unidad de un punto de coordenada a una medida de distancia más común, como millas o kilómetros.

El proceso de solución implica varios pasos, los cuales se delinean a continuación:

1. Determine los puntos de coordenadas X y Y para cada punto de origen y de demanda, junto con los volúmenes de punto y las tarifas de transportación lineal.
2. Aproxime la ubicación inicial a partir de las fórmulas del centro de gravedad mediante la omisión del término de distancia d_i como sigue:

$$\bar{X} = \frac{\sum_i V_i R_i X_i}{\sum_i V_i R_i} \tag{13-5}$$

y

$$\bar{Y} = \frac{\sum_i V_i R_i Y_i}{\sum_i V_i R_i} \tag{13-6}$$

[10] Estas ecuaciones se derivan de las ecuaciones (13-1) y (13-4) al tomar las derivadas parciales de TC con respecto de X y Y, igualándolas a cero y reagrupando los términos.

3. Utilizando la solución para $\overline{X}, \overline{Y}$ del paso 2, calcule d_i de acuerdo con la ecuación (13-4) (El factor de escala no requiere utilizarse en este punto).
4. Sustituya d_i en las ecuaciones (13-2) y (13-3), y resuelva para las coordenadas $\overline{X}, \overline{Y}$ revisadas.
5. Recalcule d_i con base en las coordenadas $\overline{X}, \overline{Y}$ revisadas.
6. Repita los pasos 4 y 5 hasta que las coordenadas $\overline{X}, \overline{Y}$ no cambien para iteraciones sucesivas, o cambien tan poco que continuar con el cálculo no sea productivo.
7. Por último, calcule el costo total para la mejor ubicación, si se desea, utilizando la ecuación (13-1).

Ejemplo

Considere el problema de Limited Distributors, Inc., con dos plantas suministrando al almacén, el cual a su vez suministra a tres centros de demanda. La configuración espacial de las plantas y los puntos de mercado se muestra en la figura 13-4. Buscamos la ubicación para el almacén sencillo que minimizará los costos de transportación. Se utiliza una cuadrícula sobrepuesta sobre el mapa de carreteras como un apoyo para establecer los puntos de ubicación relativos. Cada ubicación de planta y de centro de demanda se expresa como un punto de coordenada geométrica. El producto *A* se suministra desde P_1 y el producto *B* desde P_2. Estos productos se reenvían a los mercados. En la tabla 13-1 se resumen los puntos de coordenadas, volúmenes y tarifas de transportación.

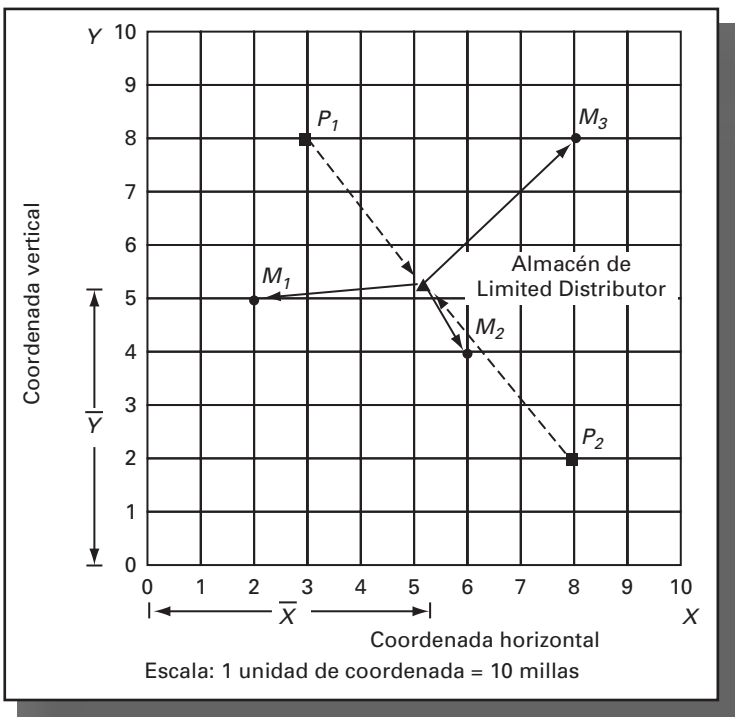


Figura 13-4
Mapa de ubicación de plantas P_1 y P_2; mercados M_1, M_2 y M_3, y ubicación sugerida de almacén.

Punto (i)	Producto (s)	Volumen total en desplazamiento, V_i (cwt.)	Tarifa de transportación ($/cwt./mi.)[a]	Coordenadas, X_i	Y_i
1-P_1	A	2,000	$0.050	3	8
2-P_2	B	3,000	0.050	8	2
3-M_1	A&B	2,500	0.075	2	5
4-M_2	A&B	1,000	0.075	6	4
5-M_3	A&B	1,500	0.075	8	8

[a] Determinada al dividir una tarifa representativa cotizada ($/cwt.) entre la distancia (millas) sobre la que aplica la tarifa.

Tabla 13-1 Volumen, tarifas de transportación y coordenadas para el mercado y los puntos de suministro

Utilizando las ecuaciones (13-5) y (13-6), podemos obtener una ubicación inicial o aproximada. Los cálculos son sencillos si resolvemos las ecuaciones en una forma tabular. Es decir,

i	X_i	Y_i	V_i	R_i	V_iR_i	$V_iR_iX_i$	$V_iR_iY_i$
1	3	8	2,000	0.050	100.00	300.00	800.00
2	8	2	3,000	0.050	150.00	1200.00	300.00
3	2	5	2,500	0.075	187.50	375.00	937.50
4	6	4	1,000	0.075	75.00	450.00	300.00
5	8	8	1,500	0.075	112.50	900.00	900.00
					625.00	3,225.00	3,237.50

Ahora, tenemos

$$\overline{X} = 3{,}225.00/625.00 = 5.16$$

y

$$\overline{Y} = 3{,}237.50/625.00 = 5.18$$

Estas coordenadas definen la ubicación del almacén, como se muestra en la figura 13-4. El costo de transportación total asociado con esta ubicación se determina en la tabla 13-2.

El ejemplo anterior terminó en el paso 2 del proceso de solución. Esta es una solución aproximada. En muchas aplicaciones, proporcionará una ubicación que será razonablemente cercana a la óptima. Facilitará una primera aproximación a la solución de menor costo y presentará un óptimo cuando exista una perfecta simetría en la ubicación, volumen y costos asociados con los puntos. Cuando estas condiciones no se cumplan por completo, las investigaciones muestran que aun el posible error puede ser muy bajo, si el volumen asociado con uno o varios puntos no es sustancialmente mayor que el resto; existen numerosos puntos de demanda o de suministro dentro del problema; y las tarifas

Tabla 13-2
Cálculo del costo de transportación para la ubicación de almacén de Limited Distributor

i	X_i	Y_i	(4) V_i	(5) R_i	(6) d_i (MI.)[a]	(7) = (4) ×(5) ×(6) COST, $
1	3	8	2,000	0.050	35.52[b]	$ 3,552
2	8	2	3,000	0.050	42.64	6,395
3	2	5	2,500	0.075	31.65	5,935
4	6	4	1,000	0.075	14.48	1,086
5	8	8	1,500	0.075	40.02	4,503
	Costo de transportación total					$21,471

[a] Estas distancias se redondearon a la 1/100 milla más cercana.

[b] A partir de la ecuación (13-4) $d_i = 10\sqrt{(3 - 5.16)^2 + (8 - 5.18)^2} = 35.52$ mi.

de transportación son lineales, o casi lineales, con la distancia.[11] Por ejemplo, un modesto problema que involucre 50 puntos de demanda con ubicaciones, volúmenes y tarifas de transportación lineal en forma dispersa aleatoriamente, tiene un error promedio de 1.6% con respecto del óptimo al utilizar este método. Por supuesto, este error se puede incrementar en forma sustancial a medida que el número de puntos de demanda disminuye.

La obtención de una solución de centro de gravedad más exacta requiere terminar los pasos restantes del proceso de solución. No es posible encontrar la solución de forma directa por lo que debemos depender de un procedimiento iterativo. Un método más simple y directo es el de aproximaciones sucesivas. Aunque existen otros, este procedimiento nos funciona bien para este ejemplo. Puede ser laborioso de hacerse a mano, pero se presta de forma muy adecuada para una solución por computadora.

Ejemplo

Continuando con el problema de Limited Distributors, ahora utilizaremos la solución del centro de gravedad como el punto inicial en las ecuaciones (13-1) y (13-2) para obtener la ubicación exacta. Las coordenadas de ubicación para la primera iteración pueden obtenerse al resolver las ecuaciones en la siguiente forma tabular, utilizando los resultados del ejemplo previo.

i	(2) V_iR_i	(3) $V_iR_iX_i$	(4) $V_iR_iY_i$	(5) d_i	(6) = (2)/(5) V_iR_i/d_i	(7) = (3)/(5) $V_iR_iX_i/d_i$	(8) = (4)/(5) $V_iR_iY_i/d_i$
1	100.00	300.00	800.00	35.52	2.815	8.446	22.523
2	150.00	1,200.00	300.00	42.63	3.519	28.149	7.037
3	187.50	375.00	937.50	31.65	5.924	11.848	29.621
4	75.00	450.00	300.00	14.48	5.180	31.077	20.718
5	112.50	900.00	900.00	40.02	2.811	22.489	22.489
					20.249	102.009	102.388

[11] Ronald H. Ballou, "Potential Error in the Center of Gravity Approach to Facility Location", *Transportation Journal* (invierno de 1973), págs. 44-49.

Tabla 13-3
Cien ciclos computacionales de coordenadas de ubicación y costos totales de transportación según lo genera el módulo de software COG

Iteración	$\overline{X}$ Coord.	Y Coord.	Costo total, $	
0	5.160	5.180	21,471.00	⇐ centro de gravedad
1	5.038	5.057	21,431.22	
2	4.990	5.031	21,427.11	
3	4.966	5.032	21,426.14	
4	4.951	5.037	21,425.69	
5	4.940	5.042	21,425.44	
6	4.932	5.046	21,425.30	
7	4.927	5.049	21,425.23	
8	4.922	5.051	21,425.19	
9	4.919	5.053	21,425.16	
10	4.917	5.054	21,425.15	
11	4.915	5.055	21,425.14	
.	.	.	.	
.	.	.	.	
.	.	.	.	
100	4.910	5.058	21,425.14	⇐ solución exacta

Los puntos de coordenadas de ubicación revisados pueden calcularse como

$$\overline{X} = 102.009/20.249 = 5.038$$

y

$$\overline{Y} = 102.388/20.249 = 5.057$$

con un costo total de $21,431.

Utilizando el módulo de software de computadora en LOGWARE conocido como COG, podemos completar 100 iteraciones de este procedimiento. Los resultados se presentan en la tabla 13-3. En este problema, observe que el costo total no disminuye más después de la onceava iteración, y que existe un mínimo cambio en las coordenadas de ubicación. Esta es la naturaleza de este problema particular, pero en otros problemas se muestran diferencias notables.

Ampliaciones al modelo de ubicación de una sola instalación

La naturaleza de ubicación continua y la simplicidad del método exacto del centro de gravedad, dado su atractivo como modelo de ubicación por sí mismo o como un submodelo dentro de métodos más elaborados, ha alentado a los investigadores a ampliar su potencial. Principalmente entre estas ampliaciones está incluir el servicio al cliente y los ingresos[12] para manejar múltiples ubicaciones,[13] y para representar costos de transportación no lineales.[14]

[12] Ver Donald J. Bowersox, "An Analytical Approach to Warehouse Location", *Handling & Shipping*, Vol. 2 (febrero de 1962), págs. 17-20; y Ronald H. Ballou, *Business Logistics Management*, 2a. ed. (Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1985), págs. 311-314.
[13] Ver Allan E. Hall, "Program Finds New Sites in Multi-Facility Location Problem", *Industrial Engineering* (mayo de 1988), págs. 71-74; y Ballou, *Business Logistics Management*, págs. 316-323.
[14] Leon Cooper, "An extension of the Generalized Weber Problem", *Journal of Regional Science,* Vol. 8, Núm. 2 (1968), págs. 181-197.

Valoración de la ubicación de una sola instalación

Además del modelo de centro de gravedad, otros métodos de ubicación de una sola instalación incluyen técnicas gráficas[15] y métodos de aproximación.[16] Todos ellos varían en el grado de realismo que simulan, en su velocidad y facilidad de cálculo, y en su habilidad para garantizar una solución óptima. Claramente, ningún método poseerá todas las características deseadas para un problema de ubicación particular, de manera que la solución lleve directamente a una decisión final y que la dirección de la empresa pueda simplemente delegar las decisiones de ubicación a un analista. Por ello, estos modelos sólo pueden proporcionar guías de solución y su utilización efectiva requerirá un buen entendimiento de sus fortalezas así como de sus limitaciones.

El beneficio de estos modelos de una sola ubicación es claro: apoyan en la búsqueda de la mejor solución a un problema de ubicación, y captan adecuadamente la realidad del problema real de manera que la solución tenga significado para la dirección de la empresa. Las limitaciones pueden no ser tan obvias y requieren ser indicadas. A pesar de que todo modelo presentará algunas limitaciones al aplicarlos a un problema real, esto no significa que el modelo no sea útil. Lo que es importante es la sensibilidad de los resultados del modelo de ubicación ante una mala representación de la realidad. Si un supuesto de simplificación, como la linealidad en las tarifas de transportación, tiene bajo o nulo efecto sobre la sugerencia de un modelo sobre la ubicación de una instalación, un modelo más simple demostrará ser más efectivo que los más elaborados.

A continuación se enumeran algunos de los supuestos de simplificación en los modelos de ubicación sencilla.

1. Los volúmenes de demanda con frecuencia se asume que se concentran en un punto, cuando de hecho éstos se generan desde varios puntos de clientes que están dispersos sobre un área amplia. El centro de gravedad del mercado por lo regular se utiliza como el grupo de demanda, pero esto es sujeto a cierto error en el cálculo de los costos de transportación al grupo de demanda en lugar de a puntos de demanda individuales.
2. Los modelos de ubicación de una sola instalación por lo general localizan una ubicación con base en los costos variables. No hacen ninguna distinción entre las diferencias en el costo de capital requerido para establecer un almacén en distintas ubicaciones y otros costos como mano de obra, costos de manejo de inventario y servicios públicos asociados con la operación de una instalación en distintas ubicaciones.
3. Por lo general se asume que los costos totales de transportación se incrementan de forma proporcional con la distancia; sin embargo, la mayoría de las tarifas de transporte están compuestas por un componente fijo y por un componente variable en función de la distancia. Las tarifas mínimas y las tarifas generales pueden distorsionar más su linealidad.
4. Comúnmente se asumen rutas en línea recta entre la instalación y otros puntos de la red. Esto rara vez es cierto, ya que el recorrido se realiza sobre una red de caminos definida, un sistema ferroviario establecido o a través de una red de calles de ciudad rectangulares. Puede incluirse un factor de proporcionalidad en el modelo para convertir distancias en línea recta a millas aproximadas de autopista, de ferrocarril, etcétera. Este factor de conversión, llamado *factor de circuitos*, varía según la ubicación. Para el transporte interurbano de Estados Unidos, las millas calculadas en línea recta

[15] Alfred Weber, *Uber den Standort der Industrien*.
[16] G. O. Wesolowsky y R. F. Love, "A Nonlinear Approximation Method for Solving a Generalized Rectangular Distance Weber Problem", *Management Science*, Vol. 18 (1972), págs. 656-663.

deberán incrementarse 20% para obtener las millas de autopista de ruta directa, y 24% para obtener las millas en ferrocarril de línea corta. Para calles urbanas, puede utilizarse un factor de 41 a 44%. En el capítulo 14 se proporciona una tabla de factores de circuitos para recorridos en camión para diferentes países.

5. Existe cierta preocupación de que modelos de ubicación como éstos no sean dinámicos. Es decir, no obtienen una solución que refleja los cambios futuros en los ingresos y en los costos.

Aplicaciones

- La corporación Leaseway Transportation fue capaz de utilizar el modelo exacto de centro de gravedad para ubicar una instalación de mantenimiento de camiones en Boston. La compañía arrendaba un número variable de camiones a diversas cuentas a lo largo del área metropolitana de Boston. La instalación de mantenimiento de camiones se ubicaría para una máxima conveniencia de todas las cuentas. Se conocía la ubicación de cada cuenta y el número de camiones arrendados. La tarifa de transportación era la misma a través de la región. El modelo de centro de gravedad presentó la ubicación general dentro de la cual podía seleccionarse un sitio específico.
- Una compañía petrolera utilizó el método del centro de gravedad para ubicar plataformas de recolección de petróleo en el Golfo de México. Muchas bocas de pozos se ubican a lo largo del piso del Golfo. Un grupo de ellas se conectó utilizando tuberías que desplazaban el petróleo hacia una plataforma de recolección en la superficie. El método del centro de gravedad fue adecuado para obtener la ubicación de la plataforma de recolección que minimizaría la longitud total de la tubería necesaria.

Ubicación de múltiples instalaciones

El problema de ubicación más complejo, y más realista, para la mayoría de las empresas se presenta cuando deben ubicarse dos o más instalaciones en forma simultánea, cuando se ubicarán instalaciones adicionales y al menos una ya existe. Este problema es común debido a que todas las compañías, con excepción de las pequeñas, cuentan con más de una instalación dentro de su sistema logístico. Resulta complejo porque estas instalaciones no pueden manejarse de manera razonable como económicamente independientes, y el número de posibles configuraciones de ubicación se vuelve enorme.

Observación

Hace algunos años, una compañía que fabricaba compuestos para limpieza industrial vendía sus productos en aproximadamente 2,000 condados de Estados Unidos, utilizaba 105 almacenes públicos y fabricaba sus productos en cuatro plantas. Existían más de 800,000 combinaciones posibles de planta-almacén-cliente para ser consideradas, sólo entre las ubicaciones existentes. Obtener una configuración óptima de almacén era aún más complicado debido a los varios cientos de artículos vendidos y a los diversos modos de transportación utilizados.

Ahora veamos el problema de ubicación del almacén como una forma general, ya que es un problema común que enfrentan muchos tipos de negocios. Puede tipificarse mediante varias preguntas básicas de planeación:

1. ¿Cuántos almacenes deberán existir en la red de cadena de suministros? ¿Qué tan grande deberán ser, y dónde deberán ubicarse?
2. ¿Cuáles puntos de demanda deberán asignarse a un almacén? ¿Cuáles almacenes deberán asignarse a cada planta, proveedor o puerto?
3. ¿Qué productos deberán manejarse dentro de cada almacén? ¿Qué productos deberán enviarse directo desde las plantas, proveedores o puertos hacia los clientes?

Se han desarrollado varios métodos de ubicación que ayudan a responder a todas o algunas de las preguntas anteriores. Se presentan aquí varios de estos métodos, aunque sin intentar realizar una selección exhaustiva, para mostrar la variedad y fuerza de ellos. Los métodos matemáticos de ubicación pueden catalogarse como exactos, de simulación y heurísticos.

Métodos exactos

Los métodos exactos se refieren a aquellos procedimientos con la capacidad de garantizar una solución matemática óptima al problema de ubicación, o al menos una solución de precisión conocida. En muchos aspectos, este es un método ideal para el problema de la ubicación; sin embargo, el método puede provocar largos tiempos de ejecución de cómputo, amplios requerimientos de memoria y una definición comprometida del problema cuando se aplique a problemas prácticos. Los modelos de cálculo[17] y de programación matemática son ejemplos de este método, y ambos se ilustrarán.

Método del múltiple centro de gravedad

Si utilizamos el método exacto de centro de gravedad en un formato de multiubicaciones se observa la naturaleza del problema de ubicación de múltiples instalaciones. Recuerde que este es un modelo basado en Cálculo que obtiene la solución de mínimo costo de transportación para una instalación intermedia ubicada entre los puntos de origen y de destino. Si se localizara más de una instalación, entonces será necesario *asignar* los puntos de origen y destino a ubicaciones arbitrarias. Esto formará grupos de puntos iguales al número de instalaciones que se ubicarán. Luego, se obtiene una ubicación exacta de centro de gravedad para cada uno de los grupos. Estas asignaciones a las instalaciones pueden realizarse en muchas formas, en especial cuando se consideran múltiples instalaciones y un gran número de puntos de origen y de destino dentro del problema. Un método es formar los grupos uniendo los puntos que estén más cercanos entre sí. Una vez que de obtuvieron las ubicaciones de centro de gravedad, los puntos se reasignan a estas ubicaciones. Se encuentran las nuevas ubicaciones de centro de gravedad para los grupos revisados. El proceso continúa hasta que no exista más cambio. Esto finaliza los cálculos para el número especificado de instalaciones que se ubicarán. Puede repetirse para distinto número de instalaciones.

[17] Para otros modelos de cálculo, vea Edgard H. Bowman, John B. Stewart, "A Model for Scale of Operations", *Journal of Marketing*, Vol. 20 (enero de 1956), págs. 242-247; y Arthur M. Geoffrion, "Making Better Use of Optimization Capability in Distribution System Planning", *AIIE Transactions*, Vol. 11, Núm. 2 (junio de 1978), págs. 96-108.

A medida que se incrementa el número de instalaciones, es común que los costos de transportación disminuyan. Las desventajas de estos costos de transportación decrecientes son los incrementos en los costos fijos totales y en los costos del sistema de manejo de inventarios. La mejor solución es la que minimice la suma de todos estos costos.

Aunque este método es óptimo si se evalúan todas las formas de asignar puntos a los grupos, se vuelve computacionalmente impráctico para problemas de tamaño realista. La asignación de muchos clientes a un incluso pequeño número de instalaciones es una enorme tarea combinatoria. Se requiere de otro método.

Programación lineal entera mixta

Los matemáticos han trabajado por años para desarrollar procedimientos eficientes de solución que cuenten con una descripción del problema suficientemente amplia para que resulte de valor práctico al tratar con el problema grande y complejo de la ubicación, que con frecuencia se encuentra dentro del diseño de la red de la cadena de suministros, y que a la vez proporcione una solución matemáticamente óptima. Han experimentado con el uso de técnicas sofisticadas de la ciencia administrativa, ya sea para enriquecer el análisis o para proporcionar mejores métodos para resolver este difícil problema de manera óptima. Estos métodos son la programación de objetivos,[18] búsqueda de árbol[19] y programación dinámica,[20] entre otros.[21] Quizá el más prometedor de esta categoría sea el método de programación lineal entera mixta.[22] Es la metodología más popular utilizada en los modelos comerciales de ubicación.[23]

El principal beneficio relacionado con la programación lineal entera mixta, beneficio que no siempre ofrecen otros métodos, es su capacidad para manejar costos fijos en forma óptima. Son bien conocidas las ventajas de la programación lineal en relación con la asignación de demanda a través de la red, que es el centro de dicho método. Aunque la optimización es muy atractiva, también lo es el precio. A menos que se exploren características especiales de un problema particular, el tiempo computacional puede resultar largo y haber requerimientos sustanciales de memoria. No hay garantía de lograr solución óptima a menos que se evalúen todas las alternativas posibles. Incluso si se encontrara la solución óptima, pueden ocurrir ligeros cambios en los datos que den lugar a movimientos subsecuentes que requieran bastante tiempo de computadora.

---

[18] Sang M. Lee, Richard L. Luebbe, "The Multi-Criteria Warehouse Location Problem Revisited", *International Journal of Physical Distribution and Materials Management*, Vol. 17, Núm. 3 (1987), págs. 56-59.

[19] U. Akinc, B. M. Khumawala, "An Efficient Branch and Bound Algorithm for the Capacitated Warehouse Location Problem", *Management Science*, Vol. 23 (1977), págs. 585-594.

[20] Robert F. Love, "One-Dimensional Facility Location-Allocation Using Dynamic Programming", *Management Science*, Vol. 23, Núm. 6 (enero de 1976), págs. 614-617.

[21] Recuerde el estudio de los métodos de ubicación por Brandeau y Chiu, "An Overview of Representative Problems in Location Research".

[22] A. M. Geoffrion, G.W. Graves, "Multicommodity Distribution System Design by Benders Decomposition", *Management Science*, Vol. 20, Núm. 5 (enero de 1974), págs. 822-844; P. Bender, W. Northup, J. Shapiro, "Practical Modeling for Resource Management", *Harvard Business Review,* Vol. 59, Núm. 2 (marzo-abril de 1981), págs. 163-173; y Jeffrey J. Karrenbauer, Glenn W. Graves, "Integrated Logistics Systems Design", en: James M. Masters y Cynthia L. Coykendale (eds.), "Logistics Education and Research: A Global Perspective", *Proceedings of the Eighteenth Annual Transportation and Logistics Educators Conference* (St. Louis, MO: 22 de octubre de 1989), págs. 142-171.

[23] Ronald H. Ballou y James M. Masters, "Commercial Software for Locating Warehouses and Other Facilities", *Journal of Business Logistics*, Vol. 14, Núm. 2 (1993), págs. 71-107.

Los problemas de ubicación de almacén se presentan con muchas variaciones. Los investigadores que han aplicado el método de programación lineal entera han descrito uno de esos problemas de ubicación de almacén de la siguiente forma:

> Existen varias mercancías generales fabricadas en varias plantas con conocidas capacidades de producción. Existe una demanda conocida para cada mercancía en cada una de las zonas de clientes. Esta demanda se satisface mediante el despacho vía almacenes, con cada zona de clientes asignada exclusivamente a un solo almacén. Hay límites inferiores así como superiores sobre el flujo anual total permitido en cada almacén. Las posibles ubicaciones para los almacenes están dadas, pero los sitios particulares que se utilizarán serán seleccionados de manera que den por resultado el menor costo total de distribución. Los costos de almacenamiento se expresan como cargos fijos (provocados por los sitios realmente utilizados) más un cargo variable lineal. Los costos de transportación se toman como lineales.
>
> Por esto, el problema será determinar las ubicaciones de almacén que se van a utilizar, el tamaño que tendrá el almacén en cada ubicación seleccionada, las zonas de clientes que deberán ser atendidas por cada almacén, y el patrón de los flujos de transportación que deberá existir para todos los artículos. Esto se realiza de manera que se cumplan las demandas dadas a un costo mínimo total de distribución, sujeto a la capacidad de la planta y la configuración de almacén del sistema de distribución.[24]

En lenguaje descriptivo, este problema puede expresarse de la siguiente manera:

> Encontrar el número, tamaño y ubicaciones de los almacenes en una red de cadena de suministros que minimizarán los costos fijos y variables lineales de desplazar todos los productos a través de la red seleccionada, sujeto a lo siguiente:
>
> **1.** No puede excederse el suministro disponible de las plantas para cada producto.
> **2.** Debe cumplirse la demanda para todos los productos.
> **3.** La utilización de cada almacén no puede exceder su capacidad.
> **4.** Debe lograrse una utilización mínima de un almacén antes de que éste pueda abrirse.
> **5.** Todos los productos de un mismo cliente deben atenderse desde el mismo almacén.

El problema puede resolverse utilizando paquetes de software de computadora de programación lineal entera general. Históricamente, tales problemas prácticos no se resolvían ni con las computadoras más poderosas. Los investigadores ahora aplican técnicas como la descomposición de un problema de múltiples productos en tantos problemas como productos existan, eliminando partes del problema irrelevantes para la solución, y aproximando relaciones de información en formas que complementen el método de solución con objeto de lograr tiempos de ejecución de computadora y requerimientos de memoria aceptables. En la actualidad, los investigadores aseveran que son capaces de extender sustancialmente el número de etapas dentro de la red que puedan ser modeladas, incluir múltiples periodos en el modelo y manejar cuidadosamente las funciones de costos no lineales.[25]

[24] Geoffrion y Graves, "Multicommodity Distribution System Design", pág. 822.
[25] Karrenbauer y Graves, "Integrated Logistics System Design".

Ejemplo

Considerando un problema menor de múltiples productos y un código de software de programación lineal estándar, es posible ilustrar un problema de ubicación mediante programación entera. Suponga que tenemos el problema de la figura 13-5. Existen dos productos demandados por tres clientes, pero un cliente puede ser atendido sólo desde un almacén. Existe la opción de dos almacenes. El almacén 1 tiene un costo de manejo de $2/cwt. por utilización; un costo fijo de $100,000 por año si se mantiene abierto; y una capacidad de 110,000 cwt por año. El almacén 2 tiene un costo de manejo de $1/cwt., un costo fijo de $500,000; y capacidad ilimitada. No existe un volumen mínimo para mantener a un almacén abierto. Se pueden utilizar dos plantas para atender a los almacenes. Las plantas pueden producir cualquier producto, pero los costos de producción por cwt difieren para cada producto. La planta 1 tiene una restricción de capacidad de producción (60,000 cwt para el producto 1 y 50,000 cwt para el producto 2). La planta 2 no tiene restricción de capacidad para ningún producto. Nuestra labor es identificar el almacén o los almacenes que se deberán utilizar, la forma como deberá asignarse a ellos la demanda de los clientes e identificar los almacenes y la utilización que deberá asignarse a las plantas.

La formulación del problema se muestra en el suplemento técnico de este capítulo. El problema se resuelve utilizando el módulo MIPROG en LOGWARE. La solución es abrir sólo el almacén 2 y atenderlo desde la planta 2. El resumen de costos es

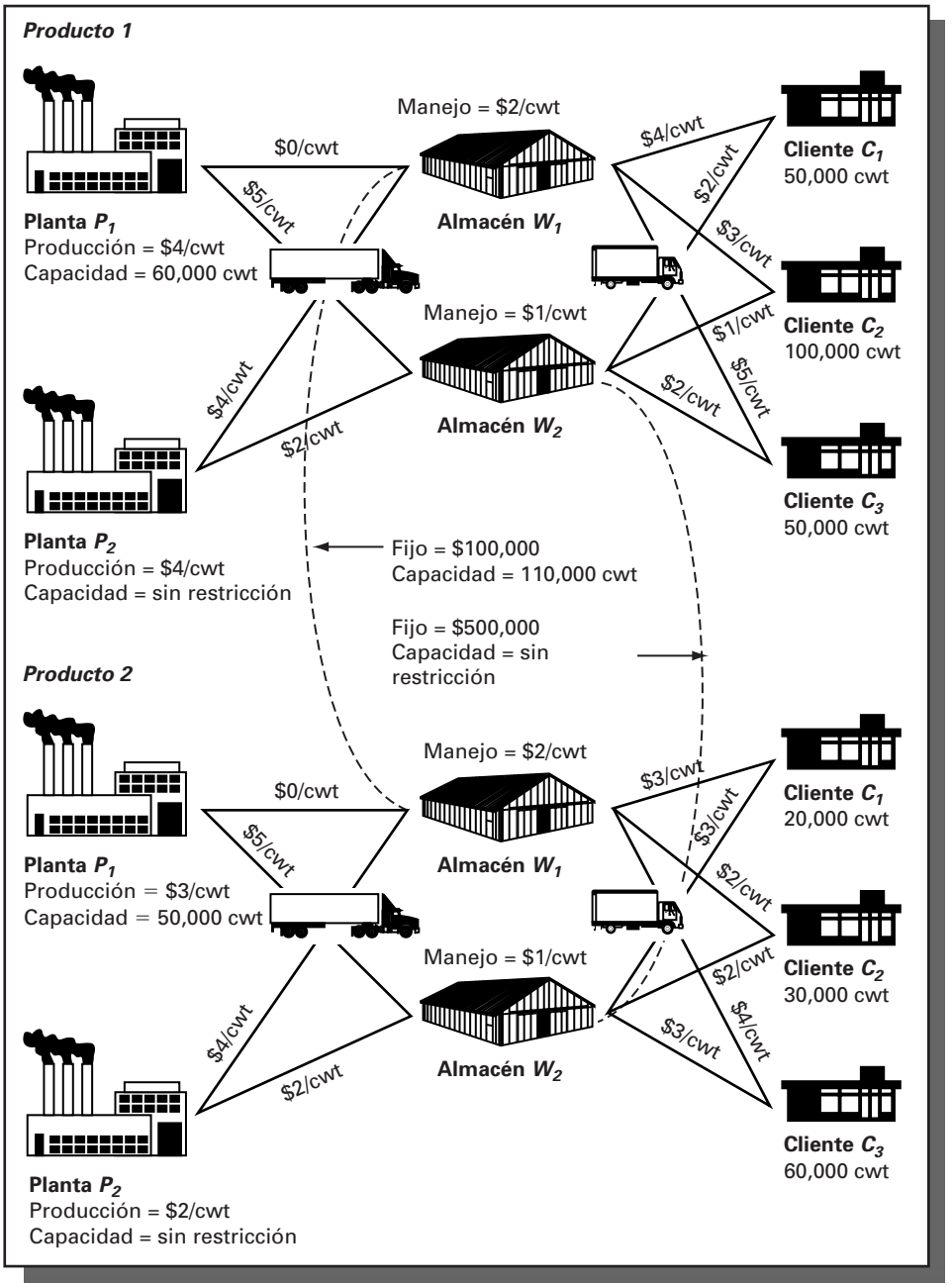
Categoría	Costo
Producción	$1,020,000
Transportación	1,220,000
Manejo del almacén	310,000
Costo fijo del almacén	500,000
Total	$3,050,000

Aplicación

Digital Equipment Corporation evalúa alternativas globales de cadena de suministros y determina la estrategia de manufactura y distribución a nivel mundial utilizando el modelo global de cadena de suministros (GSCM, por sus siglas en inglés), el cual propone una red de producción, de distribución y de proveedores. GSCM minimiza el costo o los tiempos ponderados de producción y distribución acumulados, o ambos; sujetos al cumplimiento de la demanda estimada y a restricciones en el contenido local, balanza comercial y capacidad conjunta para múltiples productos, etapas y periodos. Los factores de costo incluyen cargos de producción fijos y variables, cobros de inventario, gastos de distribución vía múltiples modos de transporte, impuestos, aranceles y repagos aduanales. GSCM es un programa lineal entero y mixto de gran tamaño que incorpora una lista global de materiales de múltiples productos para cadenas de suministro con estructura de etapas arbitraria y un amplio modelo de decisiones globales integradas de manufactura y distribución. Esta estructura de cadena de suministro ha ahorrado cerca de $100 millones.[26]

[26] Bruce C. Arntzen, Gerald G. Brown, Terry P. Harrison y Linda L. Trafton, "Global Supply Management at Digital Equipment Corporation", *Interfaces*, 25, Núm. 1 (enero-febrero de 1995), pág. 69-93.

Figura 13-5 Problema de ubicación de almacén de múltiples productos para programación lineal entera mixta.



Otro método de ubicación que utiliza la programación entera mixta es el método *p-central* modificado. Es menos complicado y menos robusto que el cálculo anterior. Los puntos de demanda y de suministro se localizan mediante puntos de coordenadas. Las instalaciones se restringen a encontrarse entre los puntos de demanda y de suministro. Los costos que afectan la ubicación son las tarifas variables de transportación expresadas en unidades como $/cwt/mi. y los costos fijos anuales asociados con las instalaciones candidatas. El número de instalaciones que se ubicarán se especifica antes de la solución. El proceso de solución obtiene este número específico entre las instalaciones candidatas.

Ejemplo

La empresa Environment Plus incinera químicos tóxicos utilizados en distintos procesos de manufactura. Estos químicos se desplazan desde 12 áreas de mercado alrededor del país hacia sus incineradores para su eliminación. La compañía proporciona la transportación debido al equipo y procedimientos especiales requeridos. Los servicios de transportación se contratan a un costo de $1.30 por milla y los camiones se cargan completamente con 300 cwt. Los recorridos llegan y salen del incinerador. Por ello, la tarifa efectiva de transporte es $1.30/mi. $\times$ 2/300 cwt = $0.0087/cwt/mi. En la tabla 13-4 se muestran las ubicaciones de mercado, el volumen anual de procesamiento y los costos fijos anuales de operación, sin importar el volumen de utilización.

Las áreas metropolitanas de Baltimore, Memphis y Minneapolis no permitirán incineradores, por lo que no son ubicaciones candidatas. Si se utilizaran cinco sitios, ¿cuáles deberían ser?

El módulo de software PMED en LOGWARE puede ayudar a resolver este problema. Se dispone de una base de datos para este problema como PMED02.DAT. Los resultados muestran las ubicaciones recomendadas para minimizar el costo.

Tabla 13-4
Datos sobre ubicación de mercado, volumen y costo para Environment Plus

Núm.	Mercado	Latitud anual,°	Longitud fija,°	Volumen, cwt.	Costo de operación, $
	Boston MA	42.36	71.06	30,000	3,100,000
	Nueva York NY	40.72	74.00	50,000	3,700,000
2	Atlanta GA	33.81	84.63	170,000	1,400,000
	Baltimore MD	39.23	76.53	120,000	—
1	Cincinnati OH	39.14	84.51	100,000	1,700,000
	Memphis TN	35.11	89.96	90,000	—
	Chicago IL	41.84	87.64	240,000	2,900,000
	Minneapolis MN	44.93	93.20	140,000	—
3	Phoenix AZ	33.50	112.07	230,000	1,100,000
4	Denver CO	39.77	105.00	300,000	1,500,000
	Los Ángeles CA	34.08	118.37	40,000	2,500,000
5	Seattle WA	47.53	122.32	20,000	1,250,000

Núm.	Nombre de la instalación	Volumen	Números de nodo asignados					
1	Cincinnati OH	680,000	1	2	4	5	7	8
2	Atlanta GA	260,000	3	6				
3	Phoenix AZ	270,000	9	11				
4	Denver CO	300,000	10					
5	Seattle WA	20,000	12					
	Total	1,530,000						
Costo total:	$9,455,339							

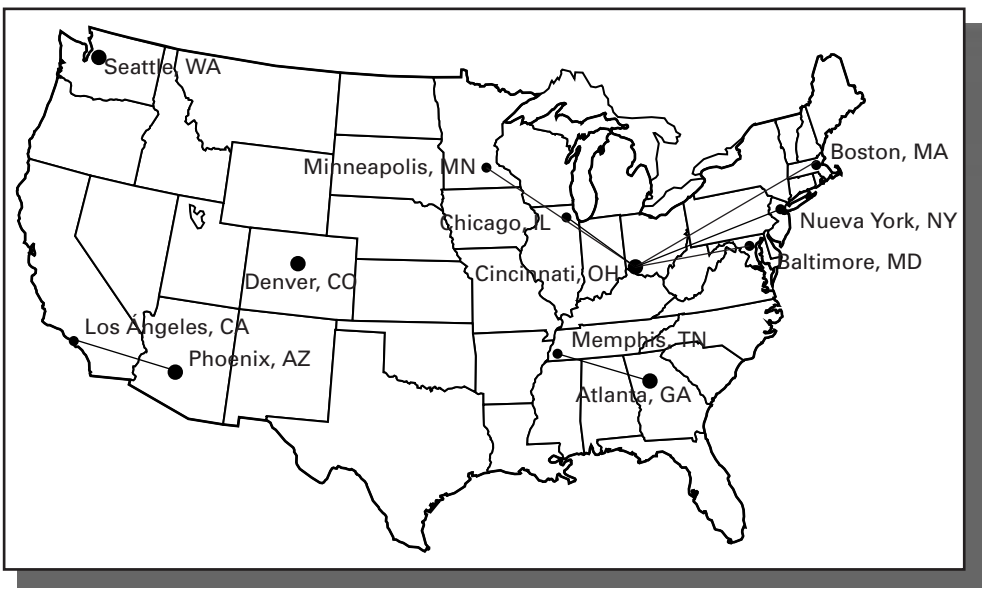
En la figura 13-6 se muestra un mapa de la solución.

La programación lineal entera mixta tiene gran atractivo como metodología, pero los potencialmente largos tiempos de solución del método para manejar problemas de ubicación a gran escala sigue siendo engorroso, aunque las más veloces computadoras han ayudado con esto. Además, la dificultad para manejar funciones no lineales como pueden presentarse en las políticas de inventario, tarifas de transportación y relaciones de ventas y servicio al cliente permiten que otros métodos sigan siendo competitivos con la programación lineal entera mixta.

Métodos de simulación

Aunque pueda parecer que los modelos de ubicación que proporcionan soluciones óptimas desde un punto de vista matemático son los mejores, debe recordarse que la solución

Figura 13-6 Gráfica de los resultados de la solución para el problema de ubicación de Environment Plus.



óptima al problema real de ubicación no es mejor que la descripción del modelo de las realidades del problema. Además, tales modelos de optimización con frecuencia son difíciles de entender y requieren habilidades técnicas que muchos gerentes no poseen. Por esto, los defensores que demandan que una descripción precisa del problema sea la principal prioridad, con frecuencia dependen de la simulación como el método de planeación seleccionado. Prefieren arriesgarse encontrando una mejor solución pero subóptima a un problema descrito con precisión, que una solución óptima para una descripción de problema aproximada.

Un modelo de simulación de la ubicación de instalaciones se refiere a una representación matemática de un sistema logístico mediante expresiones algebraicas o lógicas que pueden manipularse con la ayuda de una computadora. Dada una representación realista de las relaciones económicas y estadísticas, se utiliza el modelo de simulación para evaluar el impacto de diversas configuraciones. Los modelos de simulación se diferencian de los modelos de ubicación algorítmica en que el analista o gerente debe especificar las instalaciones particulares en la red para ser evaluadas. Encontrar patrones de ubicación óptimos o muy cercanos a lo óptimo depende de los almacenes particulares y las asignaciones a ellos que se seleccionaron para su evaluación. En tanto que los modelos algorítmicos buscan el mejor número, ubicación y tamaño de las instalaciones, un modelo de simulación intenta encontrar la mejor red mediante la aplicación repetida del modelo, dadas diferentes opciones de almacenamiento y patrones de asignación. La calidad de los resultados y la eficiencia con la que éstos se obtienen dependen de la habilidad y visión del usuario para seleccionar las ubicaciones que se analizarán.

Aplicación

Un modelo para propósito de ubicación de almacén, que ahora es un clásico, fue desarrollado por H. J. Heinz Company y luego aplicado a los problemas de distribución de la compañía Nestlé.[27] La simulación proporcionó respuestas a las preguntas básicas de ubicación de almacén (número, ubicación, asignación de la demanda a los almacenes, etcétera) y podía manejar hasta 4,000 clientes, 40 almacenes y de 10 a 15 fábricas. En contraste con muchos modelos de algoritmo, esta simulación contaba con un amplio ámbito de problemas. Los principales elementos de costo de distribución en la simulación de la compañía Heinz fueron

1. ***Clientes***. Las características de los clientes que afectan los costos de distribución son
   a. Ubicación del cliente
   b. Volumen anual de demanda
   c. Tipos de productos adquiridos. Productos diferentes caen en varias clasificaciones de artículos, y por tanto requerirán distintas tarifas de transporte. Cuando existen variaciones regionales en la mezcla de producto, no se aplicará una tarifa promedio para todos los productos.
   d. Distribución del tamaño del pedido. Distintos tamaños de envíos requieren diferentes tarifas de transporte.

[27] Harvey N. Shycon y Richard B. Maffei, "Simulation-Tool for Better Distribution", *Harvard Business Review,* Vol. 38, Núm. 6 (noviembre-diciembre de 1960), págs. 65-75.

2. ***Almacenes.*** Las características de los almacenes que afectan los costos son
   a. Inversión fija en almacenes propiedad de la compañía. Algunas compañías prefieren el almacenamiento público, lo que implica una inversión fija relativamente baja.
   b. Costos fijos anuales de operación y administración.
   c. Costos variables de almacenamiento, manejo, rotación de inventario y procesamiento de información.
3. ***Fábricas.*** La ubicación de las fábricas y los productos disponibles en cada fábrica son los elementos que más afectan a los costos de distribución. Ciertos cobros de almacenamiento y manejo en la fábrica pueden asignarse en forma adecuada a los costos de distribución, pero en la medida que estos costos sean ampliamente independientes de la configuración del almacén, pueden excluirse del análisis.
4. ***Costos de transportación.*** Los costos de flete para desplazar el producto de la fábrica al almacén se denominan costos de transportación. Estos dependen de la ubicación de la fábrica y almacén involucrados, el tamaño del envío y la clasificación de artículo del producto.
5. ***Costos de entrega.*** Los costos de desplazar el producto desde el almacén al cliente se denominan costos de entrega y dependen del tamaño del envío, la ubicación del almacén y el cliente, y la clasificación del tipo de producto.[28]

El procesamiento de la información de entrada se manejó en dos partes. Primero, un programa de preprocesamiento separó los pedidos de clientes que podían atenderse a través de un almacén, de los pedidos que eran lo suficientemente grandes como para ser atendidos desde una planta en forma económica. Luego, el programa de verificación, o principal, calculó las distancias desde los clientes hasta los almacenes y desde las plantas hacia los almacenes a partir de un sistema de coordenadas de longitud y latitud.[29] Se asignaron clientes a almacenes mediante el análisis de los cinco almacenes más cercanos y luego seleccionando el almacén que ofrecía el menor costo en términos de costos de entrega desde el almacén hasta el cliente, costos de manejo y almacenamiento en el almacén, y costo de transportación desde la planta hasta el almacén. Luego la computadora realizaba los cálculos necesarios para evaluar una configuración de almacén particular, dados los flujos de producto asignados a través del sistema de almacenamiento y la información geográfica capturada en el programa de verificación. Se utilizó el método de programación lineal para resolver cualquier limitación de capacidad en las fábricas. Se evaluaron muchas configuraciones de ubicación de almacén. La figura 13-7 es un diagrama de flujo de la operación del modelo.

Los modelos de simulación siguen desempeñando un importante papel en la ubicación de almacenes. Con frecuencia son desarrollados principalmente como simuladores de inventario (LREPS[30] y PIPELINE MANAGER[31]), pero otros se desarrollaron directo

[28] Martin L. Gerson y Richard B. Maffei, "Technical Characteristics of Distribution Simulators", *Management Science*, Vol. 10 (octubre de 1963), págs. 62-69.
[29] Este sistema de coordenadas limita los errores entre las distancias reales y las calculadas a cerca de 2 por ciento.
[30] Donald J. Bowersox, "Planning Physical Distribution with Dynamic Simulation", *Journal of Marketing*, Vol. 36 (enero de 1972), págs. 17-25.
[31] Robert Sloan, "Integrated Tools for Managing the Total Pipeline", *Annual Conference Proceedings* (Chicago: Council of Logistics Management, 1989), págs. 17-25.

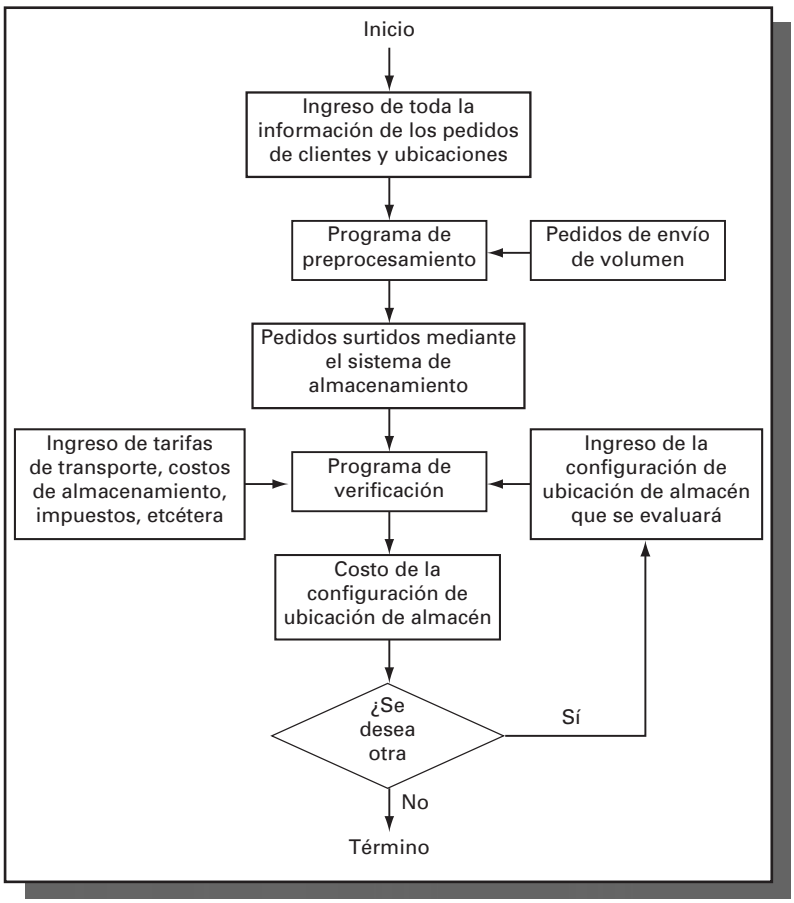


Figura 13-7
Diagrama de flujo para una simulación de ubicación de almacén desarrollado para la compañía H. J. Heinz.

Fuente: Harvey N. Shycon y Richard B. Maffei, "Simulation-Tool for Better Distribution", *Harvard Business Review,* Vol. 38 (noviembre-diciembre de 1960), pág. 73.

para servir en la ubicación de almacenes.[32] Una característica valiosa inherente en ellos es su habilidad para manejar los aspectos relativos al tiempo del inventario junto con los aspectos geográficos de la ubicación. Por otro lado, los requerimientos de información masiva y los largos tiempos de ejecución de computadora pueden ser un problema para esta metodología. Sin embargo, las descripciones precisas de la realidad son los principales motivos de su atractivo.

Un problema importante con los simuladores de ubicación es que el usuario tal vez no sepa lo cercano que las configuraciones de almacén elegidas se encuentren del óptimo. Naturalmente, sabemos que la curva de costo total para el problema de ubicación por lo general tiene "una base plana". Por ello, los costos entre alternativas calificadas muy cercanas cambian poco dentro de la región óptima. En la medida en que se haya evaluado un número razonable de configuraciones cuidadosamente seleccionadas, podemos tener un alto grado de confianza de que al menos se habrá obtenido una solución satisfactoria.

[32] Donald B. Rosenfield y William C. Copacino, "Logistics Planning and Evaluation Using 'What-if' Simulation", *Journal of Business Logistics*, Vol. 6, Núm. 2 (1985), págs. 89-109.

Métodos heurísticos

La heurística se refiere a todos los principios o conceptos que contribuyen a reducir el tiempo promedio de búsqueda de una solución. En ocasiones se denominan *reglas empíricas* que guían la resolución de problemas. Al aplicarla a los problemas de ubicación, tales reglas empíricas, que son consecuencia de un entendimiento del proceso de solución, permiten que se obtengan soluciones adecuadas en forma rápida a partir de numerosas alternativas. Aunque los métodos heurísticos no garantizan que se haya obtenido una solución óptima, los beneficios de tiempos razonables de ejecución de cómputo y requerimientos de memoria, una buena representación de la realidad y una calidad de solución satisfactoria son los motivos para considerar al método heurístico para la ubicación de almacén.

Los métodos heurísticos han sido populares como metodología para la ubicación de almacenes. Un método heurístico clásico y útil para el problema de la ubicación de almacén fue desarrollado por Kuehn y Hamburger.[33] Abundan otros ejemplos.[34] Para ayudar a entender un tipo de modelo heurístico para problemas reales considere la naturaleza del problema de ubicación que generalmente se encuentra en la práctica.

El problema de la ubicación consiste en balancear los costos relevantes a la ubicación, los cuales incluyen

- Costos de producción y de adquisiciones
- Costos de almacenamiento y manejo de almacén
- Costos fijos de almacén
- Costos de manejar el inventario
- Costos de procesamiento de pedidos de inventario y de pedidos de clientes
- Costos de transportación de entrada y de salida del almacén

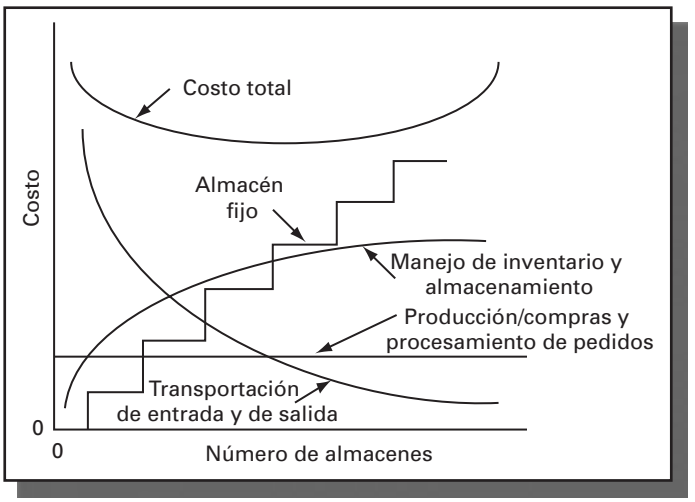
Cada una de estas categorías de costos debe reflejar las diferencias geográficas, las características de volumen y de envío, las variaciones en las políticas y las economías de escala.

La naturaleza de la interrelación de los costos se muestra gráficamente en la figura 13-8. Los costos fijos, de inventario y de almacenamiento se encuentran en directa oposición con los costos de transportación de entrada y de salida. Los costos de producción y de procesamiento de pedidos también participan en la interrelación, pero no pueden mostrarse en forma adecuada en esta figura particular. La labor del modelo de ubicación será localizar la configuración de almacén/planta que dé por resultado el costo relevante total mínimo, sujeto al servicio al cliente y a otras restricciones prácticas establecidas en el problema.

La figura 13-8 muestra que los costos de transportación disminuyen con el número de almacenes dentro del sistema de distribución. Esto por lo general es válido debido a que los envíos de entrada a un almacén se realizan en grandes cantidades, y a menores tarifas, que los envíos de salida. A medida que más almacenes ingresan al sistema, los almacenes estarán más cercanos a los clientes, de modo que el costo de entrada se incrementa

[33] A. A. Kuehn y M. J. Hamburger, "A Heuristic Program for Locating Warehouses", *Management Science,* Vol. 10 (julio de 1963), págs. 643-666.
[34] Brandeau y Chiu, "An Overview of Representative Problems in Location Research", págs. 666-667; y Ronald H. Ballou y James M. Masters, "Commercial Software for Location Warehouses and Other Facilities", *Journal of Business Logistics*, Vol. 14, Núm. 2 (1993).

Figura 13-8
Interrelaciones generalizadas de costo en el problema de ubicación de instalaciones.



pero el costo de salida se reduce de manera desproporcionada. La curva de costos de transportación continuará descendiendo hasta que se utilicen tantos almacenes dentro de la red que ya no resulte práctico mantener envíos de vehículos de carga completa a todos los almacenes. La curva de transportación se elevaría en este punto.

La curva de costo de manejo de inventario y de almacenamiento muestra que se incrementa a un ritmo decreciente a medida que el número de almacenes dentro de la red se eleva. Esto es principalmente resultado de la política de inventarios de la empresa, así como de la forma como se ejecuta la política, y de la creciente cantidad de costos fijos dentro de la red. Con más almacenes existirá proliferación de la cantidad de inventario de seguridad dentro de la red. Si la firma controla inventarios mediante procedimientos de cantidades económicas de pedido, se obtendrá un nivel de inventarios promedio y una curva de costos de manejo de inventarios en forma ajustada. Otras políticas pueden dar por resultado curvas de costos de manejo de inventarios y de almacenamiento un tanto diferentes, que van desde lineales hasta en forma ajustada.[35] Si los almacenes son propiedad de la empresa o arrendados, existirá un cargo fijo anual por almacén. Entonces, los costos fijos totales dentro de la red se incrementarán con el número de almacenes.

Evaluación selectiva

Es posible desarrollar un procedimiento heurístico a partir de un método ya presentado en este capítulo, nombrado método del centro de gravedad múltiple. El procedimiento es para resolver un número especificado de instalaciones. Ya que el método toma en cuenta costos de transportación, los costos adicionales, como los costos fijos de inventario y de la instalación, pueden añadirse para crear un costo total más representativo. Mediante la repetición del procedimiento para distinto número de instalaciones puede obtenerse el mejor número de instalaciones, y sus ubicaciones asociadas.

[35] Ronald H. Ballou, "Estimating and Auditing Aggregate Inventory Levels at Multiple Stocking Points", *Journal of Operations Management*, Vol. 1, Núm. 3 (febrero de 1981), págs. 143-153.

Ejemplo

Suponga que contamos con información de diez mercados y sus correspondientes tarifas de transportación, como se proporcionan en el archivo MCOG01.DAT del software LOGWARE. Los mercados se muestran en la figura 13-9. Además, existe un cobro fijo anual de $2'000,000 por cada almacén. Todos los almacenes tienen suficiente capacidad para manejar la demanda de mercado completa. La cantidad de inventario dentro del sistema logístico se estima a partir de $I_T(\$) = \$6{,}000{,}000\sqrt{N}$, donde N es el número de almacenes dentro de la red. Los costos de manejo de inventario son de 25% por año. Las tarifas de manejo en los almacenes son todas iguales; por tanto, no afectan el resultado de ubicación. ¿Cuántos almacenes deberán existir? ¿Dónde deberán ubicarse? y ¿cuáles mercados deberán asignarse a cada almacén?

Utilizando el módulo de software de MULTILOG en LOGWARE y resolviendo en forma repetida para distinto número de almacenes, se puede desarrollar una hoja de cálculo como se muestra en la tabla 13-5.

Cuatro almacenes representan el mejor balance de costos. Como se observa en la figura 13-9, los almacenes deberán ubicarse en los mercados 3, 7, 9 y 10. Los mercados 2, 3, 4 y 5 se asignan al almacén en 3; los mercados 1, 6 y 7 se asignan al almacén en 7; los mercados 8 y 9 se asignan al almacén en 9; y el mercado 10 se asigna al almacén en 10.

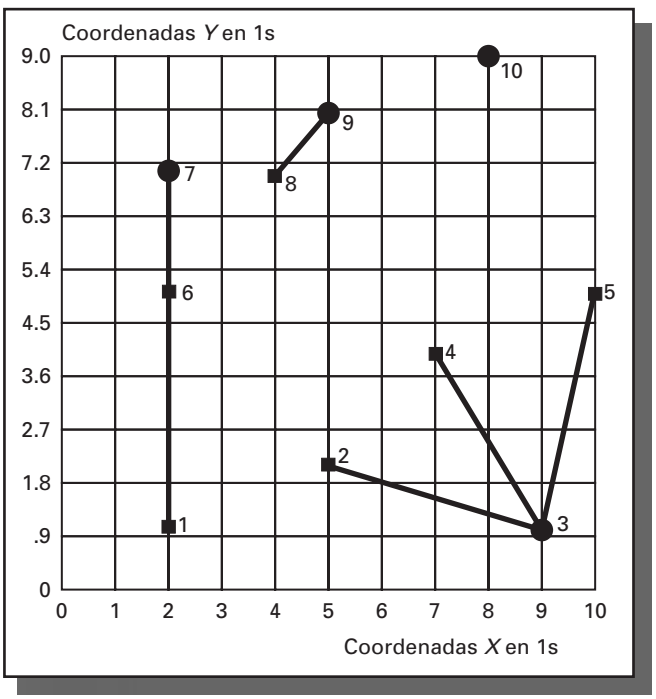


Figura 13-9
Mercados para el problema del ejemplo y una solución con cuatro almacenes.

Tabla 13-5
Evaluación de la selección de alternativas de ubicación

Número de almacenes	Costo de transportación, $	Costo fijo, $	Costo de inventario, $	Costo total, $	
1	41,409,628	2,000,000	1,500,000	44,909,628	
2	25,989,764	4,000,000	2,121,320	32,111,084	
3	16,586,090	6,000,000	2,598,076	25,184,166	
4	11,368,330	8,000,000	3,000,000	**22,368,330**	←
5	9,418,329	10,000,000	3,354,102	22,772,431	
6	8,032,399	12,000,000	3,674,235	23,706,634	
7	7,478,425	14,000,000	3,968,627	25,447,052	
8	2,260,661	16,000,000	4,242,641	22,503,302	
9	948,686	18,000,000	4,500,000	23,448,686	
10	0	20,000,000	4,743,416	24,743,416	

El método de evaluación selectiva es heurístico por varios motivos. Primero, el método del centro de gravedad múltiple incluye algunas reglas que se utilizan para determinar las ubicaciones de almacén iniciales. Esto puede ocasionar resultados por debajo de lo óptimo. Segundo, los costos fijos y los costos de inventario se añaden a los costos de transportación *después* de que se determinan las ubicaciones de almacén. Es preferible que estos costos se combinen *durante* el proceso que determina la ubicación de almacén para resultados más cercanos al óptimo. Sin importar sus desventajas, el método tiene valor cuando existe un mínimo de información disponible para resolver un problema de ubicación. Es útil para generar ubicaciones candidatas que puedan ser evaluadas en forma más exhaustiva utilizando procedimientos más robustos.

Otra forma de evaluación selectiva especifica el número de almacenes que se evaluarán y los almacenes particulares en ese número. Aunque el análisis general es similar al que acabamos de presentar utilizando el método de centro de gravedad, el analista utiliza juicio, lógica y habilidades cognitivas humanas y resultados provenientes de otros tipos de modelos para seleccionar los almacenes para evaluación. Ya que los modelos que buscan el óptimo no pueden esperar a considerar todos los factores necesarios para encontrar un diseño de red satisfactorio, este tipo de análisis por escenarios se vuelve muy útil para el diseño práctico de redes. La programación lineal se utiliza comúnmente para asignar la demanda a lo largo de la red especificada. La selección de almacenes específicos para evaluación es una forma efectiva de tratar las cuestiones prácticas en el diseño de la red y de asegurarse que se consideren las combinaciones de almacén deseadas. La mayor parte de los análisis de ubicación están dominados por evaluación selectiva de este tipo.

La evaluación selectiva puede utilizarse para resolver problemas de ubicación donde el modelo utilizado dentro del análisis no es básicamente de naturaleza de ubicación. Un problema común de este tipo es la ubicación de un depósito de camiones desde donde se despachan los camiones. A múltiples camiones se les programa su ruta con diversos puntos de paradas, y la configuración de ruta depende de la ubicación del depósito en proximidad con los puntos de parada. La ubicación del depósito estará dominada por los costos de transportación, de manera que la solución del problema de programación de ruta de camiones es crítica para la ubicación del depósito. Puede utilizarse un modelo de programación de ruta de vehículos como ROUTER en LOGWARE para formar rutas y minimizar los costos de transportación. Entonces, la selección de una ubicación particular pa-

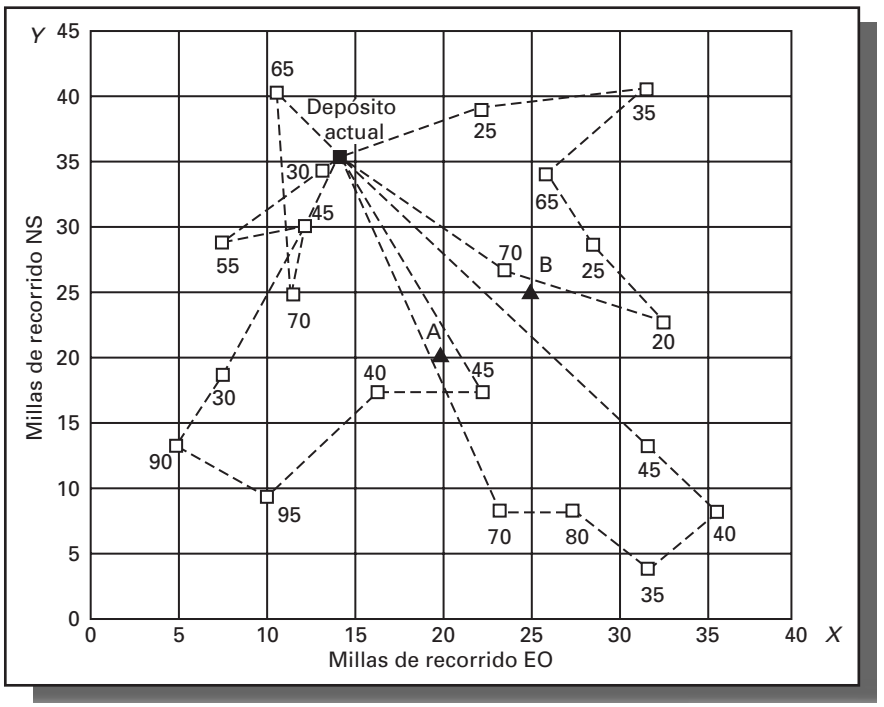


Figura 13-10 Ubicación actual del depósito con volúmenes de parada en cwt y rutas de camión.

ra depósito, la solución del problema para la ubicación seleccionada, y la suma de los costos específicos para la ubicación permitirán evaluar la ubicación. Este es un procedimiento de prueba y error, y la solución satisfactoria al problema de ubicación dependerá de la calidad de las ubicaciones seleccionadas para evaluación.

Ejemplo

Una empresa de suministro para restaurantes realiza entregas a sus clientes (restaurantes) sobre una base diaria. Actualmente se despachan cuatro camiones sobre rutas desde un depósito ubicado en una ciudad, como se muestra en la figura 13-10, para un volumen de entrega de un día típico. Considerando que los camiones se amortizan a un costo de $20 por día por camión, los costos de combustible y mantenimiento para operar cada camión son de $0.40 por milla, y los conductores reciben $11 por hora por sueldo y beneficios, el costo actual diario para atender a los clientes es de $508. La compañía se encuentra considerando mudarse a una de dos ubicaciones centrales indicadas en la figura 13-10, como *A* y *B*. Se espera que los costos de operación de la instalación sean aproximadamente iguales, pero el costo único amortizado de desplazarse se estima en $40 por día. Utilizando el programa ROUTER en LOGWARE para generar rutas desde los depósitos en *A* y *B* se obtienen los costos actualizados de transportación. Al comparar las tres alternativas sobre una base de costos diarios, tenemos:

Ubicación	Número de camiones	Costo de enrutamiento	Costos de los camiones	Costos de mudanza	Costo total diario
Actual	4	$508	80	—	$588
A	5	497	100	40	637
B	4	484	80	40	604

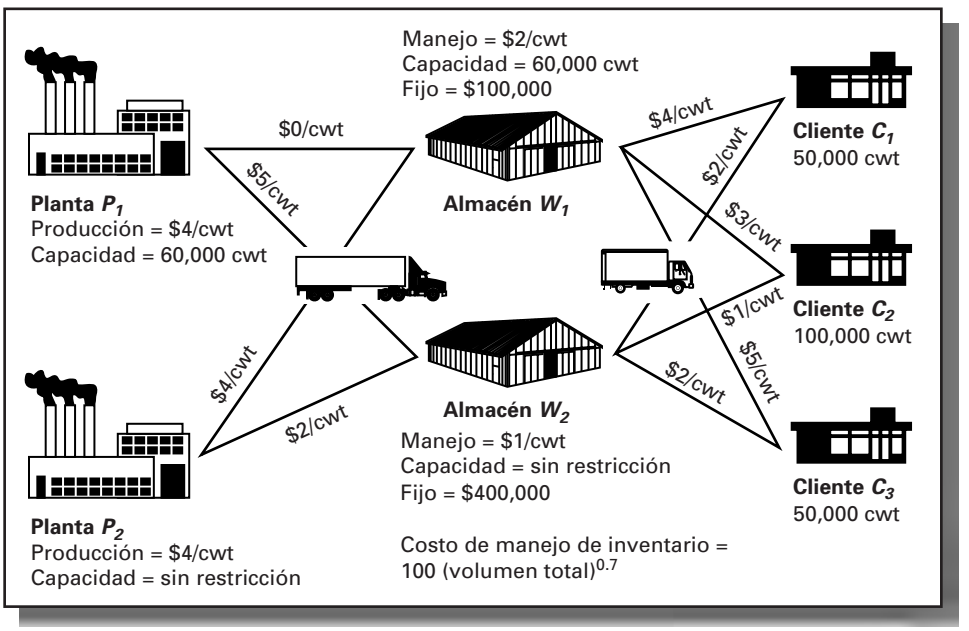
Ya que los ahorros en los costos de enrutamiento no pueden compensar el costo de mudarse a una nueva ubicación, la decisión económica será mantener el depósito en la ubicación actual.

Programación lineal guiada

Cuando se desarrollan procedimientos heurísticos serios para los problemas de ubicación del mundo real, éstos por lo general incluirán la programación lineal como parte de la metodología de solución. La ventaja es que la programación lineal proporciona resultados óptimos y puede manejar las restricciones de capacidad que muchos otros métodos evitan. Sin embargo, para ser verdaderamente un procedimiento robusto para ubicación, también deben ser manejados los costos fijos y los costos no lineales de inventario. Se requiere utilizar procedimientos heurísticos con la programación lineal para crear un modelo efectivo.

Considere el reducido problema de un solo producto que se muestra en la figura 13-11. El primer paso es construir una matriz que tenga formato como el problema de transportación de programación lineal. Al asignarle una estructura especial, podrán representarse

Figura 13-11 Problema de ubicación de un solo producto con costos fijos de almacén y costos de inventario.



		Almacenes		Clientes			Capacidades de planta y almacén
		W_1	W_2	C_1	C_2	C_3	
Plantas	P_1	4[a] **60,000**	9	99[b]	99	99	60,000
	P_2	8	6 **140,000**	99	99	99	999,999[c]
Almacenes	W_1	0	99	9.7[d]	8.7 **60,000**	10.7	60,000
	W_2	99[b]	0	8.2[e] **50,000**	7.2 **40,000**	8.2 **50,000**	999,999[c]
Capacidad de almacén y demanda del cliente		60,000	999,999[c]	50,000	100,000	50,000	

[a] Tarifas de transporte de entrada más producción, es decir, 4 + 0 = 4.
[b] Utilizado para representar un costo infinitamente grande.
[c] Utilizado para representar capacidad ilimitada.
[d] Tarifas de manejo de inventario, almacenamiento, transportación de salida y costos fijos, es decir, 3.2 + 2 + 4 + 0.5 = 9.7.
[e] 3.2 + 1 + 2 + 2.0 = 8.2.

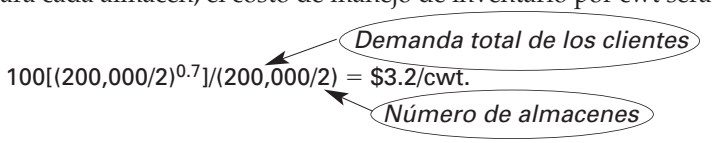
Figura 13-12 Matriz de costos de celda y valores de solución para la primera iteración en el problema de ejemplo.

dos niveles de redes logísticas en la matriz de la figura 13-12. El proceso heurístico estará guiado por la forma en la que las celdas de costos se ingresan a la matriz. Ya que los costos de producción y transportación entre las plantas y almacenes son lineales, éstos ingresan a las celdas de almacén directamente. Por ejemplo, la celda de costo que representa el flujo entre P_2 y W_1 serán los costos de transportación más producción, o \$4/cwt + \$4/cwt = \$8/cwt.

El bloque de celdas para almacenes y clientes combina el manejo de almacén más la transportación, más el manejo de inventario y más los costos fijos. Las tarifas de manejo y transportación pueden obtenerse directamente de la figura 13-11. Sin embargo, no existen *tarifas* para el manejo de inventarios y los costos fijos, por lo que deberán desarrollarse, dependiendo de la utilización de cada almacén. Ya que esta utilización no se conoce, debemos asumir utilizaciones iniciales. Para los costos fijos, a cada almacén se asigna el estatus más favorable al asumir que toda la demanda fluye a través de él. Por ello, la tarifa asociada con los costos fijos para el almacén 1 serían los costos fijos anuales de almacén divididos entre la demanda total de clientes, o \$100,000/200,000 = \$0.50 /cwt. Para el almacén 2, será \$400,000/200,000 = \$2.00/cwt.

Para los costos de manejo de inventario, la tarifa por cwt dependerá del número de almacenes y de la demanda asignada a ellos. Nuevamente, para dar a cada almacén la

mayor oportunidad de ser seleccionado, la utilización que se asume para los almacenes será igual, es decir, la utilización para cada almacén será la demanda total de los clientes, dividida entre el número de almacenes que se evalúa. El costo de manejo de inventario "por unidad" estará definido como el valor del inventario promedio dentro del almacén dividido entre la utilización del almacén del periodo, o $IC_i = K$ (Utilización$_i$)^a/Utilización$_i$. Inicialmente para cada almacén, el costo de manejo de inventario por cwt será



Ahora se capturan los costos fijos estimados y de manejo de inventario por unidad en las celdas de almacén-cliente de la matriz de la figura 13-12. El problema se resuelve en forma normal utilizando el módulo TRANLP de LOGWARE. Los resultados computacionales se muestran con los valores en negritas en la figura 13-12. Esto finaliza el primer ciclo de los cálculos.

Los ciclos subsecuentes emplean las utilizaciones (volumen total manejado) de almacén de sus ciclos anteriores para mejorar el estimado de los costos unitarios de manejo de inventario y de costos fijos. Para realizar estos estimados, observamos de la solución que la utilización para W_1 es 60,000 cwt y para W_2 es de 140,000 cwt (ver figura 13-12). Los costos asignados para los almacenes son

Almacén	Costo fijo por unidad, $/cwt	Costo unitario de manejo de inventario, $/cwt
W_1	$100,000/60,000 cwt. = 1.67	$100(60,000 cwt.)$^{0.7}$/60,000 cwt. = 3.69
W_2	$400,000/140,000 cwt. = 2.86	$100(140,000 cwt.)$^{0.7}$/140,000 cwt. = 2.86

Las celdas de costos en la matriz para los almacenes a los clientes (ver figura 13-12) se recalculan como:

	C_1	C_2	C_3
W_1	11.36[a]	10.36	12.36
W_2	8.72[b]	7.72	8.72

[a] 2 + 4 + 1.67 + 3.69 = 11.36
[b] 1 + 2 + 2.86 + 2.86 = 8.72

Las celdas restantes permanecen sin alterar. Ahora, resolvemos el problema nuevamente.

La solución de la segunda iteración muestra que toda la producción se lleva a cabo en la planta 2 y que toda la demanda se atenderá desde el almacén 2. Es decir,

	C_1	C_2	C_3	
W_1	0	0	0	
W_2	50,000	100,000	50,000	← Producido en la planta 2

Las iteraciones subsecuentes repiten la solución de la segunda iteración, ya que la asignación de los costos fijos y de inventario permanece sin cambio. Se ha alcanzado un punto de término. Para encontrar los costos de la solución, se recalculan a partir de los costos reales en el problema. No se utilizan las celdas de costos de la figura 13-12, ya que éstas

contienen los valores estimados para los costos fijos y de manejo de inventario del almacén. En vez de ello, se calculan los costos de la siguiente forma utilizando las tarifas de la figura 13-11.

Tipo de costo	Almacén 1 0 cwt.	Almacén 2 200,000 cwt.
Producción	\$0	$200{,}000 \times 4 = \$800{,}000$
Transportación de entrada	0	$200{,}000 \times 2 = 400{,}000$
Transportación de salida	0	$50{,}000 \times 2 = 100{,}000$
		$100{,}000 \times 1 = 100{,}000$
		$50{,}000 \times 2 = 100{,}000$
Fijos	0	400,000
Por llevar inventarios	0	$100(200{,}000)^{0.7} = 513{,}714$
Manejo	0	$200{,}000 \times 1 = 200{,}000$
Subtotal	\$0	\$2,613,714
Total	\$2,613,714	

El ejemplo anterior ilustró un procedimiento heurístico para un solo producto. Sin embargo, muchos problemas prácticos de ubicación requieren que se incluyan múltiples productos en el procedimiento computacional. Con una ligera modificación donde se distribuyen los costos fijos para un almacén entre los productos de acuerdo con su utilización de almacén, el procedimiento de programación lineal guiado puede ampliarse para manejar casos de múltiples productos.[36]

Valoración de los métodos de ubicación de instalaciones múltiples

Los modelos de gran escala, de ubicación de instalaciones múltiples son impresionantes en cuanto al apoyo que brindan a los directivos en la toma de decisiones. Las aplicaciones van desde grandes redes de suministro y distribución que involucran más de 100 almacenes, 20 grupos de productos, 15 plantas y 300 zonas de demanda de clientes para suministrar redes donde cientos de proveedores suministran a un almacén maestro, que a su vez suministra a los clientes. La industria de la defensa, de la venta al menudeo, de bienes de consumo y de bienes industriales que operan tanto en ambientes locales, nacionales e internaciones han aplicado modelos de esta escala. Los principales motivos para la popularidad de los modelos de ubicación son: 1) ofrecen apoyo a la decisión para resolver un problema de grandes consecuencias para la administración de la empresa; 2) son lo suficientemente fuertes como para reproducir una amplia variedad de redes logísticas con un detalle aceptable para propósitos de planeación; 3) son económicos de aplicar, de tal forma que los beneficios derivados de su uso exceden por mucho su costo de aplicación, y 4) la información requerida por ellos se obtiene fácilmente en la mayoría de las empresas. Estos modelos han evolucionado mucho en la representación de la realidad con respecto de los primeros modelos de los economistas agrarios.

[36] Ronald H. Ballou, "DISPLAN: A Multiproduct Plant/Warehouse Location Model with Nonlinear Inventory Costs", *Journal of Operations Management,* Vol. 5, Núm. 1 (noviembre de 1984), págs. 75-80.

Sin embargo, estos modelos no son completamente lo que podrían ser.[37] En primer lugar, las relaciones de costo no lineales y discontinuas que se observan en las políticas de inventarios, las estructuras de las tarifas de transportación y en las economías de escala de la producción y las compras continúan presentando dificultades matemáticas para enfrentarlas en forma precisa o eficiente. En segundo lugar, los modelos de ubicación de instalaciones deberían extenderse para tratar de manera más eficiente las decisiones de inventario y de transportación[38] en forma simultánea; es decir, deberían ser modelos de planeación de redes verdaderamente integrados en vez de requerir que cada problema se maneje de manera independiente y aproximada. En tercer lugar, debe ponerse más atención a la incorporación de los efectos de los ingresos en el proceso de diseño de redes, ya que el resultado por lo general es una recomendación de un mayor número de almacenes que cuando se maneja el servicio al cliente como una restricción y los costos se minimizan.[39] En cuarto lugar, los modelos deberían ser fácilmente accesibles para los administradores y planificadores para que puedan ser utilizados con frecuencia en la planeación táctica y en la presupuestación, y no sólo para propósitos ocasionales de planeación estratégica. Esto requerirá vínculos más cercanos con el sistema de información directiva de la empresa, de modo que la información para ejecutarlos pueda ser suministrada de inmediato y en la forma requerida para el uso del modelo.

En conjunto, cada uno de estos modelos, aunque varían en términos de alcance y procedimientos de solución, pueden ser utilizados por el analista cualificado o por el gerente para generar resultados valiosos. Hacer que la tecnología existente sea más fácil de utilizar y más accesible para quienes toman las decisiones es una dirección futura en la que debe realizarse el desarrollo.

Ubicación dinámica de un almacén[40]

Los modelos de ubicación analizados hasta ahora representan el tipo de investigación sofisticada que está siendo realizada para apoyar a los responsables de la logística para resolver problemas prácticos de ubicación de almacenes. Aunque muchas mejoras de los modelos los han hecho más representativos y más eficientes computacionalmente, éstos permanecen de naturaleza estática. Es decir, no proporcionan patrones de ubicación óptima en el tiempo.

Los patrones de costos y de demanda se desplazan con el tiempo, de modo que al poner en práctica la solución de un modelo de ubicación basado en información de hoy puede resultar subóptimo bajo las condiciones económicas de mañana. La configuración óptima

[37] Ronald H. Ballou, "Unresolved Issues in Supply Chain Network Design", *Information Systems Frontiers*, Vol. 3, Núm. 4 (diciembre de 2001), págs. 417-425.

[38] Para un ejemplo de integración de la planeación de la transportación en los modelos de ubicación, ver Jossef Perl, Mark S. Daskin, "A Unified Warehouse Location-Routing Methodology", *Journal of Business Logistics*, Vol. 5, Núm. 1 (1984), págs. 92-111; y para costos de mantenimiento de inventario integrados a las decisiones de ubicación, ver Steven J. Erlebacker, Russell D. Meller, "The interaction of Location and Inventory in Designing Distribution Systems", *IIE Transactions*, Vol. 32 (2000), págs. 155-166.

[39] Peng-Kuan Ho y Jossef Perl, "Warehouse Location Under Service-Sensitive Demand", *Journal of Business Logistics,* Vol. 16, Núm. 1 (1995), págs. 133-162.

[40] Esta sección está basada en Ronald H. Ballou, "Dynamic Warehouse Location", *Journal of Marketing Research,* Vol. 5 (agosto de 1968), págs. 271-276. Ampliaciones de este trabajo se encuentran en D. Sweeney y R. L. Tatham, "An Improved Long-Run Model for Multiple Warehouse Location", *Management Science*, Vol. 22, Núm. 7 (marzo de 1976), págs. 748-758; G. O. Wesolowsky, W. G. Truscott, "The Multi-Period Location-Allocation Problem with Relocation of Facilities", *Management Science*, Vol. 22 (1975), págs. 57-65; Tony Van Roy y Donald Erlenkotter, "A Dual-Based Procedure for Dynamic Facility Location", *Management Science*, Vol. 28, Núm. 10 (octubre de 1982), págs. 1091-1105.

de red es cuestión de cambiar de una configuración a otra durante el horizonte de planeación para mantener una configuración óptima con el tiempo. Esto no es simplemente el problema de encontrar los mejores números, tamaños y ubicaciones de los almacenes en cada uno de los años durante el horizonte de planeación. Existe un costo de cambiar de una configuración a otra. Si la red utiliza almacenes públicos, puede resultar práctico cambiar la configuración con frecuencia, ya que existe un bajo costo asociado con la liquidación de los inventarios en un almacén y el arranque de otros en otro almacén. Por otro lado, si existe un costo importante de desplazar de una configuración a otra, como puede ser el caso de los almacenes propios o rentados, no debe presentarse con frecuencia la modificación de la configuración de red. Por ello, resulta importante llevar a cabo el mejor diseño en forma inicial.

Encontrar las mejores configuraciones en el tiempo puede manejarse en varias formas. Primero, pueden localizarse las mejores ubicaciones de almacén utilizando las condiciones actuales y las proyectadas para cierto año futuro. Las configuraciones de red entre el año actual y el año futuro podrán entonces promediarse.

Segundo, podrá obtenerse y llevarse a cabo la mejor configuración actual de red. Luego, en cada año, a medida que la información llegue y esté disponible para el año, se obtendrá la mejor configuración nueva. Si los ahorros de ubicación entre la nueva configuración y la anterior son mayores que los costos asociados con desplazarse a la nueva configuración, deberá considerarse el cambio. Este método tiene el beneficio de siempre trabajar con la información real, no con aquélla que requiere ser pronosticada.

Tercero, se puede encontrar una trayectoria de configuración óptima a lo largo del tiempo que de forma precisa muestre cuándo se requiere un cambio a una nueva configuración y la configuración a la cual deberá realizarse el cambio. Las metodologías que ya se han analizado para la ubicación estática de almacenes pueden incorporarse a un procedimiento de programación dinámica para obtener la trayectoria de configuración óptima. Para ilustrar la metodología, puede utilizarse un simple problema de ubicación individual.

Ejemplo

Suponga que tenemos el problema que se muestra en la figura 13-13. Una planta de Granville despacha a través de un solo almacén hacia un número de mercados en Arlington, Concordia, Stanton, Morton y Chardon. Se proyecta que con el tiempo la demanda se incrementará y se desplazará hacia el oeste. Las ubicaciones del centro de gravedad para cada año en los siguientes cinco años se muestran como puntos *A, B, C, D* y *E*. En la tabla 13-6 se muestran las utilidades, descontadas al tiempo presente, asociadas con cada una de estas mejores ubicaciones. Además, también se proporcionan las utilidades descontadas asociadas con ubicarse en cada uno de los sitios a lo largo de los cinco años. Sabemos que se requieren $100,000 para desplazarse de un sitio a otro en cualquier año. El costo de capital es de 20% por año.

Encontrar el mejor plan de ubicación-reubicación requiere buscar en la tabla de utilidades (tabla 13-6) la trayectoria de máxima utilidad, después de tomar en cuenta los cargos de desplazamiento apropiados. Esto no es una tarea sencilla, pues incluso para este pequeño problema existen 5^5 = 3,125 posibles planes de ubicación-reubicación. Sin embargo, aquí puede aplicarse la técnica de programación dinámica,[41] y reducirá el número

[41] Para una introducción a la programación dinámica, vea Frederick S. Hillier, *Introduction to Operations Research*, 7a. ed. (Nueva York: McGraw-Hill, 2000), capítulo 10.

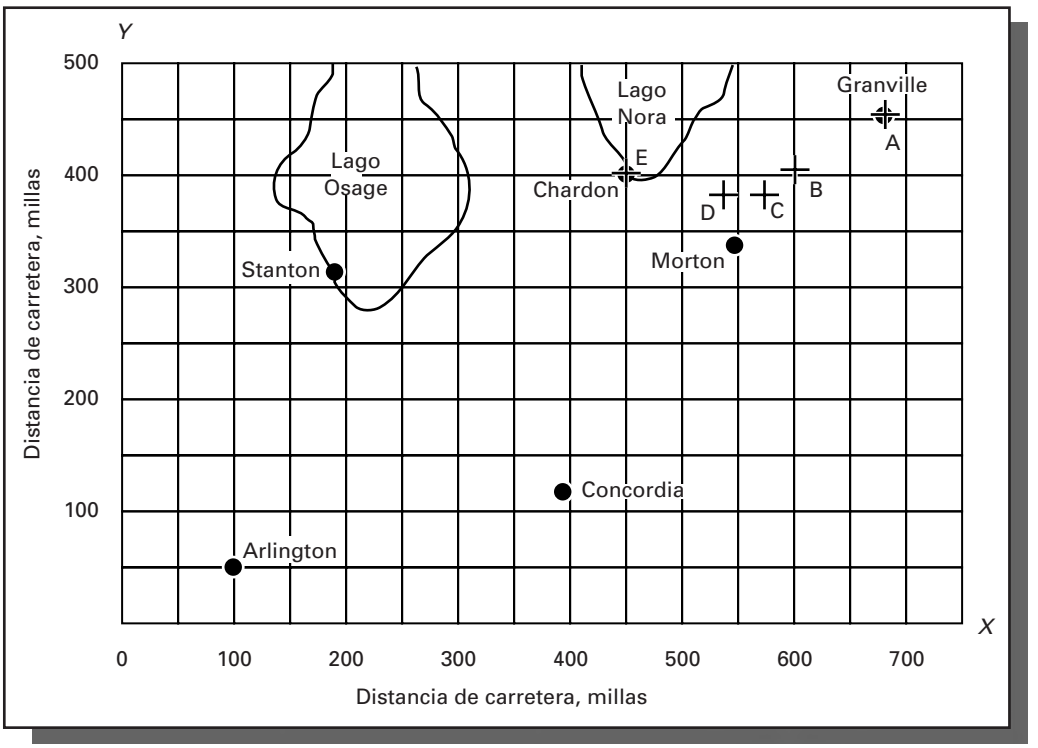


Figura 13-13 Mapa de ubicación de planta-mercado con puntos de ubicación de almacenamiento de máxima utilidad (+) para cada uno de los cinco años.

Tabla 13-6 Utilidades descontadas proyectadas para cada ubicación en cada año del horizonte de planeación con utilidades máximas a lo largo de la diagonal principal

Alternativas de ubicación de almacén	Año a partir del presente				
	Primero	Segundo	Tercero	Cuarto	Quinto
A	**$194,000**[a]	$ 356,100	$ 623,200	$ 671,100	$1,336,000
B	176,500	**372,000**[a]	743,400	750,000	1,398,200
C	172,300	344,700	**836,400**[a]	862,200	1,457,600
D	166,700	337,600	756,100	**973,300**[a]	1,486,600
E	159,400	303,400	715,500	892,800	**1,526,000**[a]

[a] Estas alternativas son las ubicaciones de máxima utilidad para cada año del horizonte de planeación, como se muestra en la figura 13-13.

de cálculos requeridos para encontrar el plan óptimo a $5 \times 5 = 25$. La programación dinámica permite remodelar este problema de periodos múltiples en una serie de eventos de una sola decisión.

Iniciando con el último año, calculamos la utilidad asociada con encontrarse en la ubicación *A* o de desplazarse hacia una de las otras ubicaciones. El costo descontado de desplazarse al inicio del año 5 sería de $\$100{,}000/(1 + 0.20)^4 = \$48{,}225$. Dadas las utilidades de ubicación para el quinto año (ver tabla 13-6), queremos seleccionar la mejor estrategia, suponiendo que nos encontramos en la ubicación *A* al comienzo del quinto año. Evaluamos las siguientes opciones:

	Alternativa (x)	Utilidad de ubicación		Costo de desplazamiento		Utilidad neta	
$P_5(A) =$	A	\$1,336,000	–	0	=	\$ 1,336,000	
	B	1,398,000	–	48,225	=	1,349,975	
	C	1,457,600	–	48,225	=	1,409,375	
	D	1,486,600	–	48,225	=	1,438,375	
	E	1,526,000	–	48,255	=	**1,477,775**	←

Si el almacén se ubica en *A*, deberíamos desplazarlo a *E* para maximizar la utilidad.

Procedemos con cálculos similares para cada ubicación en el quinto año. La estrategia y las utilidades asociadas se registran en la tabla 13-7.

Cuando los cálculos de estrategia se realizan para los años diferentes al quinto, debemos incluir las utilidades acumuladas a partir de los años subsecuentes. Considere que los cálculos se harían para la ubicación *D* en el año 3. El costo descontado de desplazamiento sería de $\$100{,}000/(1 + 0.20)^2 = \$69{,}444$. Las utilidades de ubicación se encuentran en la tabla 13-6. Las utilidades acumuladas para el año subsiguiente (año 4) se encuentran en la tabla 13-7. Ahora podemos encontrar la mejor estrategia.

	Alternativa (*x*)	Utilidad de ubicación		Costo de desplaza-miento		Utilidad acumulada para los años subgs. P_4(x)		Utilidad acumulada para el año 3 P_3(D)	
$P_3(D) =$ máx.	A	\$623,200	–	69,444	+	\$2,402,030	=	\$2,955,786	
	B	743,000	–	69,444	+	2,402,030	=	3,075,986	
	C	836,400	–	69,444	+	2,402,030	=	3,168,986	
	D	756,100	–	0	+	2,459,900	=	**3,216,000**	←
	E	715,500	–	69,444	+	2,418,800	=	3,064,856	

Se efectúan cálculos similares hasta que se completa la tabla 13-7. Se puede rastrear la ubicación dinámica óptima a través de la tabla. Buscamos en el primer año la utilidad acumulada máxima (\$3'755,430), la cual está en la ubicación C. A partir de este punto, la estrategia señalada es $S_C\ S_C\ S_C\ S_D\ S_D$. Esto significa ubicarse al inicio en *C*, permanecer en *C* durante los primeros tres años y luego cambiar a la ubicación *D* al inicio del cuarto año. Permanecer en la ubicación *D* el resto del horizonte de planeación. Observe también en la tabla 13-7 que si deseáramos inicialmente ubicarnos en alguno de los otros sitios, podemos rastrear una estrategia óptima dado ese punto inicial.

Tabla 13-7 Estrategias de ubicación-reubicación durante un horizonte de planeación de cinco años con utilidades acumuladas que se muestran del año *j* al año 5.

Alternativas de ubicación de almacén (x)	Año a partir de la fecha actual									
	Primero		Segundo		Tercero		Cuarto		Quinto	
	$P_1(x)$	Estrategia[a]	$P_2(x)$	Estrategia[a]	$P_3(x)$	Estrategia[a]	$P_4(x)$	Estrategia[a]	$P_5(x)$	Estrategia[a]
A	$3,719,086	S_A	$3,525,086	S_A	$3,168,986	M_C	$2,402,030	M_D	$1,477,775	M_E
B	3,717,486	S_B	3,540,986	S_B	3,168,986	M_C	2,402,030	M_D	1,477,775	M_E
C	[b] → **3,755,430**	$\boldsymbol{S_C}$	→ **3,583,130**	$\boldsymbol{S_C}$	→ **3,238,430**	$\boldsymbol{S_C}$	2,402,030	M_D	1,477,775	M_E
D	3,720,300	S_D	3,553,600	S_D	3,216,000	S_D	**2,459,900**	$\boldsymbol{S_D}$	→ **1,486,600**	$\boldsymbol{S_D}$
E	3,659,197	S_E	3,499,797	M_C	3,168,986	M_C	2,418,800	S_E	1,526,000	S_E

[a] El símbolo de estrategia se refiere a "permanecer" (*S*) en la ubicación señalada o "moverse" (*M*) a una nueva ubicación según se indica.
[b] Las flechas indican el plan de ubicación de máxima utilidad cuando el almacén se ubica inicialmente en *C*.

UBICACIÓN PARA VENTA AL MENUDEO Y PARA SERVICIO

Los centros de servicio y venta al menudeo con frecuencia son los puntos terminales de almacenamiento en una red de distribución física. Éstos incluyen instalaciones como tiendas departamentales, supermercados, sucursales bancarias, centros de urgencias médicas, iglesias, centros de reciclado, y estaciones de bomberos y de la policía. Los análisis de ubicación para estos puntos con frecuencia deben ser muy sensibles ante factores de ingresos y de accesibilidad en vez de los factores de costos tan importantes para la ubicación de plantas y almacenes. Factores como la proximidad a la competencia, estructura de la población, patrones de tráfico de clientes, cercanía con puntos de venta complementarios, disponibilidad de estacionamiento, proximidad a rutas adecuadas de transporte, actitudes comunitarias son sólo algunos de los muchos factores que pueden influir para la ubicación de la venta al menudeo o los servicios. Por ello, la metodología anterior no se aplica directamente a estos problemas. Ya que es menos probable que el encargado de la logística sea el responsable de la ubicación para la venta al detalle o para el servicio, analizaremos sólo algunas de las metodologías más populares.

Lista de verificación ponderada

Por lo regular, muchos de los factores importantes para la ubicación de la venta al menudeo o para el servicio no se cuantifican fácilmente o sin asumir un costo. El criterio personal sigue siendo parte integral de la decisión de ubicación; no obstante, es difícil realizar comparaciones entre sitios a menos que el análisis pueda ser cuantificado en cierto grado, incluso a *groso modo.* Una posibilidad es formar una matriz ponderada de los factores de ubicación, como la que se muestra en la tabla 13-8, y calificar cada factor para los sitios potenciales. Un número de índice, el cual es la suma de los de factores de peso multiplicados por las calificaciones de los factores, será la calificación total para el sitio. Los sitios

Tabla 13-8 Lista de los factores importantes para elegir sitio de venta al menudeo o de servicios

DATOS DEMOGRÁFICOS LOCALES	CARACTERÍSTICAS DEL SITIO
Población base del área local	Núm. de cajones de estacionamiento disponibles
Ingreso posible en el área local	Distancia de las áreas de estacionamiento al sitio
	Visibilidad del sitio desde la calle
	Forma y tamaño del lote
	Condición actual del edificio (si existe alguno)
	Calidad de las entradas y salidas
FLUJO DE TRÁFICO Y ACCESIBILIDAD	**FACTORES LEGALES Y DE COSTO**
Número de vehículos	Tipo de uso de suelo
Tipo de vehículos	Duración del alquiler
Número de transeúntes	Impuestos locales
Tipo de transeúntes	Operaciones y mantenimiento
Disponibilidad de tránsito masivo	Cláusulas restrictivas en el arrendamiento
Acceso a autopistas principales	Regulaciones voluntarias por los comerciantes locales
Nivel de congestión vial	
Calidad de las vías de acceso	

Estructura de la venta al menudeo
Número de competidores en el área
Número y tipo de tiendas en el área
Complementariedad de las tiendas vecinas
Proximidad con áreas comerciales
Promoción conjunta por parte de comerciantes locales

Fuente: Avijit Ghosh y Sara L. McLafferty, *Location Strategies for Retail and Service Firms* (Lexington, MA: D.C. Heath and Company, 1987), pág. 49.

Tabla 13-8 (*cont.*)

con altos valores de índice serán considerados con preferencia sobre los sitios con valores bajos de índice.

Ejemplo

Suponga que un gran fabricante de pinturas desea ubicar un establecimiento comercial para sus productos. Se consultará a expertos externos, así como listas de control estándar para generar una lista de factores relevantes al problema de dónde ubicar la tienda comercial. En la tabla 13-9 se muestra una lista abreviada de factores. Se asignan a los pesos del factor con un número del 1 al 10, de acuerdo con la relevancia relativa de cada factor, siendo 10 el más importante. Un sitio particular se califica mediante una escala de 1 a 10, siendo 10 el estatus más favorable. Este sitio particular cuenta con un índice total de 391. Pueden calificarse otros sitios y comparar los valores totales del índice. Naturalmente debe tenerse cuidado especial para calificar sitios diferentes de manera consistente, de modo que los valores del índice puedan compararse en forma razonable.

Tabla 13-9
Lista hipotética de verificación de factores ponderados para el ejemplo de una ubicación para venta al menudeo

(1) Peso del factor (1 a 10)[a]	Factores de ubicación	(2) Calificación del factor (1 a 10)[b]	(3) = (1) × (2) Calif. ponder.
8	Proximidad con tiendas competidoras	5	40
5	Consideraciones de renta/arrendamiento del espacio	3	15
8	Espacio de estacionamiento	10	80
7	Proximidad con tiendas complementarias	8	56
6	Modernidad del espacio de tienda	9	54
9	Accesibilidad para los clientes	8	72
3	Impuestos totales	2	6
3	Servicio a la comunidad	4	12
8	Cercanía con las principales arterias de transporte	7	56
	Índice total		391

[a] Los pesos que se aproximan a 10 indican gran importancia.
[b] Las calificaciones que se aproximan a 10 se refieren a un estado favorecido de ubicación.

Observaciones

- Cuando a Dave Thomas, fundador de Wendy's, se le preguntó cómo había decidido su empresa las nuevas ubicaciones para sus restaurantes, él contestó: "Observamos dónde se encuentra un restaurante de McDonald's y nos ubicamos lo más cerca de él tanto como sea posible".
- La Original Mattress Factory, que fue fundada por un ex director ejecutivo de Sealy Mattress Company (el mayor productor de colchones de Estados Unidos), estableció una fábrica y una tienda detallista y promovió sus colchones intensivamente mediante publicidad en radio y televisión. No pasó mucho tiempo para que las tiendas competidoras de menudeo de colchones se ubicaran de inmediato al lado o cruzando la calle.

Modelo de interacción espacial

Uno de los métodos más populares para determinar el poder de atracción, o atractivo general, de un sitio es el modelo de gravedad. Una versión temprana de éste se conoció como la ley de gravitación al menudeo de Reilly,[42] la cual es notablemente similar a la ley de gravitación de Newton. La idea básica es que dos ciudades en competencia atraen comercios de parte de un poblado intermedio en proporción directa con el número de habitantes de cada ciudad, pero en proporción inversa al cuadrado de las distancias entre las ciudades y el poblado. Aunque este modelo es bastante simple, se ha enriquecido mediante el uso de la *extensión* o *variedad* ofrecida por una tienda de menudo en vez de la *población*. Las variables de extensión son los metros útiles de la tienda, el número de artículos diferentes en inventario, los niveles de inventario mantenidos, u otras características que puedan atraer a los clientes. La *distancia* en la fórmula original se vuelve la distancia de manejo del cliente o el tiempo de conducción hacia las tiendas al menudeo competidoras y al sitio propuesto. La potencia a la que se eleva la distancia o el tiempo de conducción puede determinarse en forma empírica, por lo general mediante la reducción de escala a partir de un mapa o de conducir las rutas reales, para reflejar mejor la forma como la distancia o el tiempo evita efectuar transacciones comerciales.

El concepto de gravedad fue modificado por Huff a un modelo de utilización más práctica.[43] Este modelo de interacción espacial desarrolló una base empírica acerca de la forma como los consumidores intercambian lo atractivo de los sitios al menudeo alternos con la accesibilidad. Este modelo se expresa como

$$E_{ij} = P_{ij}C_i = \frac{S_j/T_{ij}^a}{\sum_j S_j/T_{ij}^a} C_i \qquad \textbf{(13-7)}$$

donde

E_{ij} = demanda esperada del centro poblacional i que será atraída a la ubicación al menudeo j

[42] William J. Reilly, *The Law of Retail Gravitation* (Nueva York: Knikerbocker Press, 1931).
[43] David L. Huff, "A Computer Program for Location Analysis", en Raymond M. Hass (ed.), *Science, Technology and Marketing* (Chicago: American Marketing Association, 1966), págs. 371-379.

P_{ij} = probabilidad de que los clientes del centro poblacional *i* viajen a la ubicación al menudeo *j*
C_i = demanda de los clientes en el centro poblacional *i*
S_j = tamaño de la ubicación al menudeo *j*
T_{ij} = tiempo de recorrido entre el centro poblacional *i* y la ubicación al menudeo *j*
n = número de ubicaciones al menudeo *j*
a = parámetro estimado en forma empírica[44]

Observe que el tamaño *S* puede incluir todas las variables que atraen a los clientes a un sitio al menudeo (lo atractivo de la tienda, disponibilidad del inventario, precio, espacio de estacionamiento, etcétera). El sitio al menudeo puede ser un solo comercio o centro de servicio de un grupo de tiendas, como en un centro comercial. El tiempo de recorrido *T* puede incluir a todas las variables que rechazan a los clientes (distancia, congestionamiento vial, limitaciones en el acceso, desviaciones, etcétera). El propósito de este modelo es estimar la fracción del mercado total que será tomada por los distintos sitios al menudeo y de centros de servicio.

El modelo de Huff es un modelo básico de interacción espacial. Con los años, los investigadores han mejorado su habilidad para representar problemas reales, lo han reformulado como un modelo multiplicativo, y han sugerido diferentes definiciones de las variables para mejorar su desempeño predictivo.[45]

Ejemplo

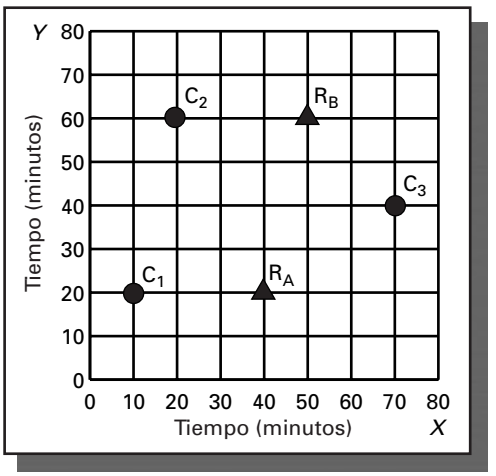
Suponga que existen dos centros comerciales *(R_A* y *R_B)* dentro de una región metropolitana, localizados en relación contigua como se muestra en el mapa de tiempos de la figura 13-14. R_B es un sitio posible y R_A es un sitio existente. Los clientes *(C_1, C_2* y *C_3)*, quienes son atraídos a los centros comerciales, se concentran en los centros de gravedad de sus vecindarios. Las posibles ventas totales de los tres vecindarios son $10, $5 y $7 millones, respectivamente. El centro comercial *A* tiene 500,000 pies cuadrados de área de ventas y el *B* tiene 1 millón de pies cuadrados. Se estima el parámetro *a* en 2.

La participación o fracción del mercado para cada centro puede aproximarse como se muestra en la tabla 13-10. Primero se calcula el tiempo de recorrido utilizando las ubicaciones de puntos de coordenadas. Por ejemplo, el tiempo de recorrido entre C_1 y R_B es $D_{1B} = \sqrt{(X_1 - X_B)^2 + (Y_1 - Y_B)^2} = \sqrt{(10 - 50)^2 + (20 - 60)^2} = 56.6$. Segundo, se obtiene el tiempo de rechazo T^a, $T^2_{1B} = 3{,}200$. Tercero, se calcula la probabilidad P_{ij} del ingreso de un dólar a un centro. Por ejemplo, la probabilidad de que el cliente 1 seleccione el centro *B* es

$$P_{1B} = \frac{1{,}000{,}000/3{,}200}{(500{,}000/900) + (1{,}000{,}000/3{,}200)} = \frac{312.5}{868} = 0.36$$

[44] Una forma de determinar este parámetro es comparar las ventas actuales para una configuración al menudeo actual con las ventas generadas por el modelo. El parámetro se establece de modo que los dos sean iguales. Para otra forma de calibrar el modelo vea Avijit Ghosh y Sara L. McLafferty, *Location Strategies for Retail and Service Firms* (Lexington, MA: Heath, 1987), págs. 95-100.
[45] Para una revisión de estas ampliaciones, consulte Ghosh y McLafferty, capítulo 5.

Figura 13-14
Mapa de cuadrícula del tiempo para el ejemplo de ubicación de un centro comercial.



Cuarto, la probabilidad multiplicada por el potencial de ventas totales de un vecindario de un cliente será la contribución de ventas que cada vecindario hace a las ventas del centro comercial. La contribución esperada del vecindario C_1 a R_B sería $0.36 \times 10 = \$3.6$ millones. Por último, las contribuciones de vecindario se suman para tener las ventas totales del centro comercial. En este caso, el sitio potencial R_B será capaz de generar \$13 millones en ventas. Este ingreso esperado podrá ahora compararse con los costos de operación, rentas y costos de construcción para ver si la inversión debe realizarse.

Otros métodos

Una variedad de métodos adicionales juega un papel en la solución de problemas de ubicación para ventas al menudeo o para servicios. El análisis de regresión es importante para pronosticar los ingresos que un sitio específico puede esperar. Los modelos de cobertu-

Tabla 13-10 Ventas totales estimadas del centro comercial para el problema del ejemplo

	Tiempo desde el cliente i hasta la ubicación j		T_{ij}^2		S_j/T_{ij}^2		$P_{ij} = \frac{S_j / T_{ij}^2}{\sum_j S_j / T_{ij}^2}$		$E_{ij} = P_{ij}C_i$	
Cliente i	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
C_1	30.0	56.6	900	3200	555	313	0.64	0.36	\$6.4	\$3.6
C_2	44.7	30.0	2000	900	250	1111	0.18	0.82	0.9	4.1
C_3	36.1	28.3	1300	800	385	1250	0.24	0.76	1.7	5.3
							Ventas totales del centro comercial (millones \$)		\$9.0	\$13.0

ra[46] son particularmente útiles para ubicación de servicios de urgencia, como estaciones de bomberos y de policía. Se sugiere la teoría de juegos donde la competencia es un factor clave.[47] Pueden utilizarse modelos de ubicación-reubicación como la programación de metas y la programación entera. Considere un ejemplo del uso de programación entera para ubicar el lugar principal de negocios de un banco.

Ejemplo[48]

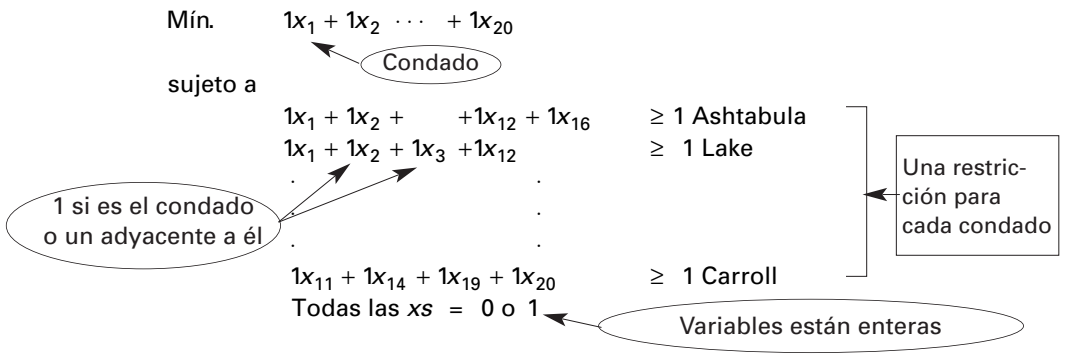
La compañía Ohio Trust desea ubicarse entre 20 condados del noreste de Ohio donde ahora no cuenta con un sitio principal de negocios. De acuerdo con las leyes bancarias en Ohio, si una compañía bancaria establece un sitio principal de negocio (SPN) en algún condado, entonces pueden establecerse sucursales en ese condado y en cualquier condado adyacente. Ohio Trust desea saber en cuáles condados establecer un número mínimo de sitios principales de negocios.

En la figura 13-15 se identifican los 20 condados de la parte noreste de Ohio. En la tabla 13-11 se enumeran los condados adyacentes a cada uno de los condados.

Para resolver este problema como un problema de programación entera, definimos

x_i = 1 si un SPN se localizara en el condado *i*; 0 de otra forma

Con base en la información de la tabla 13-11, podemos formular el problema de la siguiente manera:



Empleando cualquier programa apropiado de programación entera para resolver este problema (por ejemplo, MIPROG en LOGWARE), encontramos que se requieren 3 SPNs y que éstos deberán ubicarse en los condados de Ashland, Stara y Geauga.

Las instalaciones de servicios también pueden ubicarse por el método de programación entera.

[46] C. S. Craig y A. Ghosh, "Covering Approaches to Retail Facility Location", en *AMA Educators Proceedings* (Chicago: American Marketing Association, 1984).
[47] K. S. Moorthy, "Using Game Theory to Model Competition", *Journal of Marketing*, Vol. 22 (1985), págs. 262-282.
[48] Basado en un problema presentado en David R. Andersen, Dennos Sweeney, Thomas A. Williams, *An Introduction to Management Science*, 5a. ed. (St. Paul: West Publishing Co. 1988), págs. 335-339.

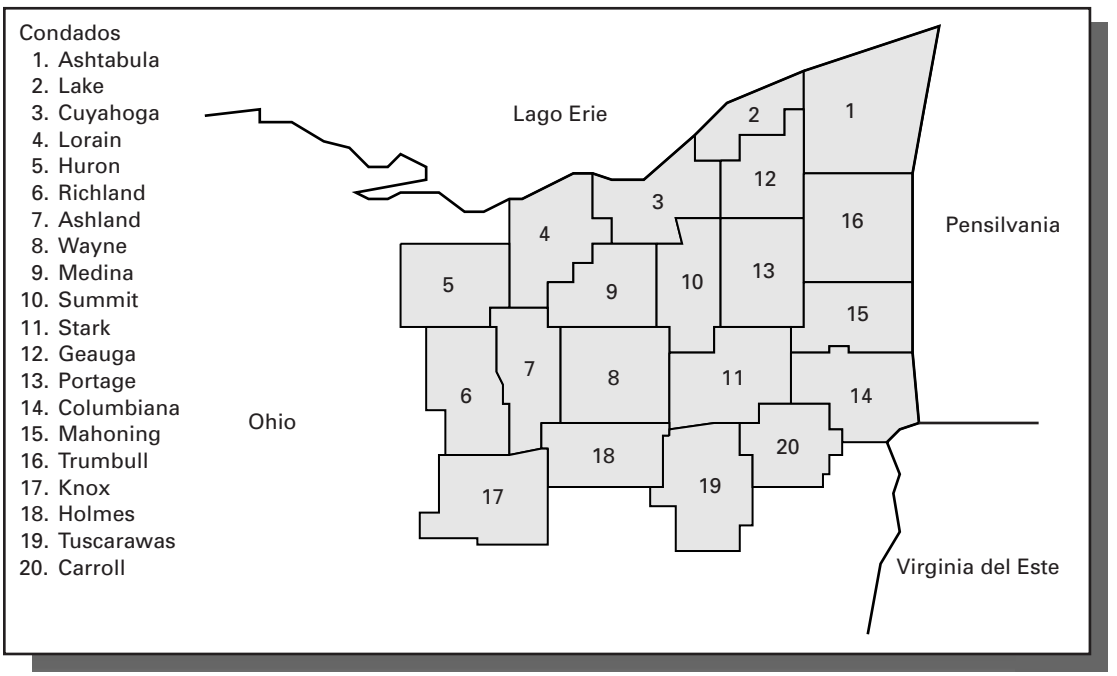


Figura 13-15 Condados del noreste de Ohio para un posible sitio principal de negocio de parte de Ohio Trust Company.

Fuente: Reimpreso con permiso de David R. Andersen, Dennis Sweeney y Thomas A. Williams, *An Introduction to Management Science*, 5a. ed. (St. Paul: West Po., 1988), pág. 336. Copyright © 1988 por West Publishing Company. Todos los derechos reservados.

Tabla 13-11 Condados adyacentes a cada condado bajo la consideración de la compañía Ohio Trust

Condados bajo consideración	Dos adyacentes por número	Dos bajo consideración	Dos adyacentes por número
1. Ashtabula	2,12,16	11. Stark	8,10,13,14,15,18,19,20
2. Lake	1,3,12	12. Geauga	1,2,3,10,13,16
3. Cuyahoga	2,4,9,10,12,13	13. Portage	3,10,11,12,15,16
4. Lorain	3,5,7,9	14. Columbiana	11,15,20
5. Huron	4,6,7	15. Mahoning	11,13,14,16
6. Richland	5,7,17	16. Trumbell	1,12,13,15
7. Ashland	4,5,6,8,9,17,18	17. Knox	6,7,18
8. Wayne	7,9,10,11,18	18. Holmes	7,8,11,17,19
9. Medina	3,4,7,8,10	19. Tuscarawas	11,18,20
10. Summit	3,8,9,11,12,13	20. Carroll	11,14,19

Fuente: Reimpreso con permiso de David R. Andersen, Dennis Sweeney, Thomas A. Williams, *An Introduction to Management Science*, 5a. ed. (St. Paul: West Po., 1988), pág. 337. Copyright © 1988 por West Publishing Company. Todos los derechos reservados.

Ejemplo

El Hospital MetroHealth desea ubicar servicios de urgencia en los alrededores de la gran área metropolitana en la que opera. El objetivo es hacer que ningún paciente maneje más de diez minutos para llegar a una sala de urgencias. Los tiempos de manejo estimados en minutos de un paciente hacia las posibles ubicaciones son los siguientes:

	Hasta la posible sala de urgencias					
Desde el vecindario	1	2	3	4	5	6
A	0	5	15	25	25	15
B	5	0	20	30	15	5
C	15	20	0	10	25	15
D	25	30	i10	0	10	20
E	25	15	25	10	0	9
F	15	5	15	20	9	0

¿Cuál es el número mínimo de salas de urgencia y en dónde deberán ubicarse?

Para resolver este problema, primero observamos las salas de urgencia que están dentro del recorrido requerido de diez minutos. La lista es

Sitio posible	Vecindario
1	A, B
2	A, B, F
3	C, D
4	C, D, E
5	D, E, F
6	B, E, F

Ahora podemos escribir

$$\text{Minimizar } X_A + X_B + X_C + X_D + X_E + X_F$$

sujeto a

$$\begin{aligned}
X_A + X_B &\geq 1 \text{ (Restricción del sitio 1)}\\
X_A + X_B + X_F &\geq 1 \text{ (Restricción del sitio 2)}\\
X_C + X_D &\geq 1 \text{ (Restricción del sitio 3)}\\
X_C + X_D + X_E &\geq 1 \text{ (Restricción del sitio 4)}\\
X_D + X_E + X_F &\geq 1 \text{ (Restricción del sitio 5)}\\
X_B + X_E + X_F &\geq 1 \text{ (Restricción del sitio 6)}
\end{aligned}$$

Todas las Xs = 0 o 1

Al resolver este problema utilizando el módulo MIPROG en LOGWARE tenemos que $X_B = 1$ y $X_D = 1$, lo que significa que las salas de urgencia deben ser colocadas en los vecindarios *B* y *D*.

Otros problemas de ubicación

Existen tantos problemas de ubicación que se presentan dentro de la planeación de una cadena de suministros que no es práctico analizar a fondo todos ellos. Sin embargo, a continuación se encuentran algunos problemas adicionales que pueden utilizar la metodología de solución ya presentada o que pueden requerir procedimientos especializados de solución. Son ilustraciones selectivas de la variedad de tipos de problemas que enfrentan los responsables de la logística.

Concentrador y periferia

La solución de un problema de ubicación que popularizaron las aerolíneas, los servicios de entrega de paquetes pequeños (FedEx y UPS) y los sistemas de comunicación es el concepto de concentrador y periferia. En vez de desplazar el tráfico directamente del origen al destino, el tráfico se direcciona a través de uno o dos concentradores, o instalaciones de transferencia. El tráfico se desplaza desde un concentrador hasta los puntos de destino o mediante una interconexión de alto volumen a otro concentrador. El problema de diseño es minimizar el costo de transportación más el costo de la operación del concentrador mediante: 1) la determinación del número de concentradores; 2) especificar sus ubicaciones, y 3) dirigir el tráfico a través de los concentradores. Ya que las identidades de origen y de destino deben asociarse, el problema no se resuelve de la misma forma que el problema de ubicación de almacén. En vez de ello, para resolver el problema en forma precisa se requiere de un algoritmo especializado.[49]

Instalaciones dañinas

Resulta común que la ubicación sea juzgada sobre un criterio de minimización de costos o de maximización de utilidades. Esto tiene la tendencia de colocar las ubicaciones cerca de los centros de demanda, lo cual en ocasiones es una desventaja. Las instalaciones dañinas, como tiraderos de basura, plantas de tratamiento de aguas, plantas de recuperación de químicos y las prisiones se ubican sobre un criterio que intenta maximizar la distancia mínima entre ellas y la población. El problema puede resolverse de manera similar al problema de la sala de urgencias del Hospital Metrohealth analizado anteriormente. La diferencia es desarrollar una matriz de centros de población que excedan la distancia mínima requerida desde una posible ubicación. Luego, las restricciones del problema se obtienen a partir de esta matriz. Se utiliza la programación entera para resolver el problema.

Microubicación

Los problemas prácticos de ubicación con frecuencia implican áreas geográficas de importante tamaño donde las aproximaciones de distancia sobre las redes de camiones de trenes, marítimas y aéreas sean razonables. Sin embargo, donde las instalaciones implican pequeñas áreas de demanda, como ubicar terminales de distribución de periódicos, terminales de entrega y recolección de camiones, ubicación de estaciones de trabajo en plantas y ubicación de productos en almacenes, las imprecisiones en la estimación de distancias recorridas no pueden tolerarse. Aunque la metodología para estos problemas de microubicación no es necesariamente distinta de las previamente analizadas, el requerimiento de información precisa sí puede serlo.

[49] Hasan Pirkul, David A. Schilling, "An Efficient Procedure for Designing Single Location Hub and Spoke Systems", *Management Science*, Vol. 44, Núm. 12 (diciembre de 1998), págs. S235-S242.

Comentarios finales

La ubicación de instalaciones dentro de la red puede considerarse el problema de planeación estratégica de logística/cadena de suministros más importante para la mayoría de las empresas. Establece las condiciones para la adecuada selección y buena administración de los servicios de transporte y niveles de inventario. En muchas formas, la ubicación de instalaciones es la "estructura ósea" de la cadena de suministros. Ya que con frecuencia existen muchas instalaciones para ser consideradas en un momento, junto con múltiples productos colocados en ellas, múltiples fuentes para atenderlas y múltiples clientes atendidos por ellas, el problema con frecuencia es muy complejo. El apoyo para las decisiones con frecuencia es muy útil.

El propósito de este capítulo fue investigar algunos de los métodos más prácticos para la ubicación de plantas, almacenes e instalaciones de venta al menudeo y de servicio dentro de la red logística. Comenzamos con la clasificación de los problemas de ubicación en un número limitado de categorías, de manera que fuese posible identificar las principales características de la metodología de ubicación. Luego, se destacó lo más importante de la historia de la teoría de la ubicación.

Se representó la metodología de ubicación de una sola instalación con el método del centro de gravedad exacto. Este método de ubicación continuo es útil cuando los costos de transportación son el factor dominante y cuando no existirá una selección de ubicaciones candidatas para probar, como en el caso de los métodos de programación matemática.

La ubicación de múltiples instalaciones es el problema más importante para la mayoría de los negocios. Con frecuencia se utilizan tres métodos de ubicación: 1) optimización; 2) simulación, y 3) métodos heurísticos. Aunque se han formulado muchos modelos para cada categoría, sólo uno o dos de cada tipo se han utilizado para ilustrar la naturaleza de la metodología. Se mostraron las extensiones de los modelos estáticos de una o de instalaciones múltiples para manejar el problema de ubicación a lo largo del tiempo.

Por último, se analizó el problema de la ubicación de la venta al menudeo y de los servicios. Se mostraron varios modelos (modelos de lista de verificación ponderada y de gravedad). El problema de la ubicación de la venta al menudeo y de servicios presenta un amplio contraste con el problema de la ubicación de almacenes, principalmente porque está basado en ingresos en vez de estar basado en costos, como la mayoría de los casos de ubicación de almacenes.

Preguntas

1. Refiérase a la clasificación de industrias de Weber. Los siguientes procesos, ¿deberían: 1) ubicarse cerca de sus mercados; 2) ubicarse cerca de sus fuentes de materia prima, o 3) no necesariamente estar ubicados en los mercados o en las fuentes de materias primas?
   a. Embotellado de líquidos para lavar parabrisas.
   b. Ensamblado de videocaseteras
   c. Fundición de aluminio
   d. Refinación de petróleo crudo
   e. Fabricación de sidra de manzana

   ¿Cómo influyen los costos de transportación en su decisión?
2. De acuerdo con Hoover, ¿qué características en las tarifas de transportación hacen inherentemente inestable la ubicación entre mercados y fuentes de materias primas?

3. ¿Qué es una ubicuidad? ¿Qué impacto tiene sobre la ubicación?
4. Los modelos de ubicación de instalaciones múltiples pueden clasificarse como exactos, de simulación o heurísticos. Explique las diferencias entre éstos y cite ejemplos de cada tipo. Asegúrese de indicar porqué su ejemplo ilustra al tipo.
5. ¿Por qué los métodos de ubicación sencilla no son muy apropiados para el problema de ubicación múltiple?
6. ¿Cuáles son los costos relevantes para el problema de ubicación múltiple de almacenes? ¿Por qué éstos son importantes para un adecuado análisis de ubicación?
7. ¿Qué beneficio tiene una curva de costo total con "base plana" para hacer de una simulación una metodología útil para la ubicación de múltiples almacenes?
8. ¿Qué es un método heurístico? ¿Qué es un método exacto? ¿Cómo son éstos útiles para resolver problemas de ubicación de almacén?
9. ¿Qué es una ubicación dinámica de almacén? ¿Cuándo es más apropiado utilizar este método?
10. ¿Cuándo es una lista de verificación ponderada una metodología útil para la ubicación?
11. En la ubicación de un restaurante McDonald's, ¿qué factores atraerían clientes a ubicaciones específicas? ¿Qué factores los rechazarían? ¿Cómo procedería usted para determinar la importancia relativa de cada factor?

PROBLEMAS

Algunos problemas en este capítulo se pueden resolver por completo o de manera parcial con la ayuda de software de computadora. Los paquetes de software en LOGWARE que son más importantes para este capítulo son COG (*C*), MULTICOG (*M*), TRANLP (*T*), ROUTER (*R*), PMED (*P*) y MIPROG (*IP*). El icono de aparecerá con la designación del paquete de software cuando el análisis del problema esté apoyado por uno de estos programas de software. Puede estar preparada una base de datos para el problema si se requiere amplia información de entrada. Cuando el problema pueda ser resuelto sin el apoyo de la computadora (a mano), se mostrará el icono de la mano Si no aparece ningún icono, se asumen cálculos manuales.

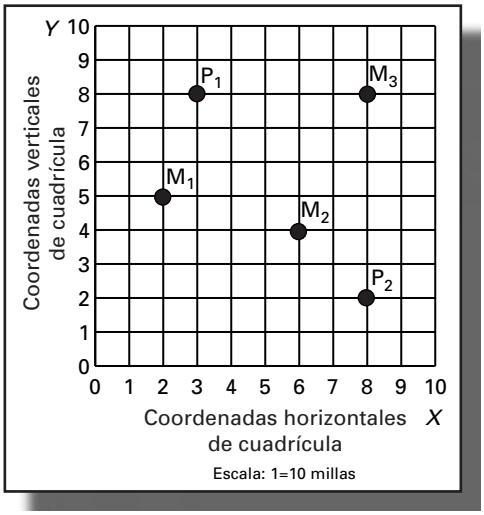
o

1. Dos plantas atenderán tres puntos de mercado mediante uno o dos almacenes, como se muestra en la figura 13-16. A continuación se proporciona el volumen que fluye desde cada punto o hacia el mismo, y las tarifas de transportación asociadas.

Punto Núm.	Punto i	Volumen V_i(cwt.)	Tarifa de transportación, R_i(\$/cwt./mi.)
1	P_1	5,000	0.04
2	P_2	7,000	0.04
3	M_1	3,500	0.095
4	M_2	3,000	0.095
5	M_3	5,500	0.095

   a. Utilizando el método de centro de gravedad, encuentre la ubicación aproximada para *un solo* almacén.
   b. Utilizando el método *exacto* de centro de gravedad, encuentre la ubicación de almacén óptima *sencilla*.

Figura 13-16
Ubicación de plantas y mercados con sobreposición de cuadrícula.



c. Evalúe la calidad de las soluciones obtenidas en términos de su nivel óptimo y utilidad. Evalúe los factores incluidos o no incluidos en el modelo. Explique cómo podría la dirección de la empresa utilizar la solución.
d. Encuentre las ubicaciones óptimas para *dos* almacenes para atender estos mercados. Asuma que cada planta atiende a cada almacén en proporción del volumen de mercado asignado al almacén.

2. El grupo Care-A-Lot Hospital desea ubicar una clínica o clínicas de pacientes externos en un área rural de África. Los costos de construcción y otras consideraciones sugieren que lo correcto sería uno o dos centros. Ya que el desplazamiento es difícil para los pacientes en esta parte del mundo, la proximidad de tales instalaciones con frecuencia influye en su decisión. Por ello, la ubicación se determina mejor con base en la distancia ponderada (número de pacientes multiplicado por la distancia desde la instalación). La figura 13-17 muestra el número anual de pacientes que probablemente visitarán la(s) clínica(s) y sus ubicaciones agrupadas. Se estima que cuesta un promedio de $0.75 por kilómetro (prorrateado sobre la base de un recorrido de ida) para que un paciente viaje o sea transportado a la(s) clínica(s). Este estimado está basado en la productividad perdida, los costos directos de viaje y los gastos indirectos de viaje pagados por otros.
   a. ¿Cuál es la mejor ubicación para una sola clínica?
   b. Si se ubicaran dos clínicas, ¿cuál es la mejor ubicación para ellas?
   c. Una clínica cuesta $500,000 (dólares norteamericanos) por año para equiparla y para dotarla de personal. Esto se paga mediante contribuciones de caridad y subsidios gubernamentales. Sobre bases puramente económicas, ¿debería construirse la segunda clínica?

3. Bottoms-Up, Inc., es una pequeña compañía que produce y distribuye cerveza bajo la marca Old Wheez. La compañía se encuentra analizando la posibilidad de penetrar el área de mercado de la ciudad metropolitana de North Shore. Se busca una ubicación de planta que atienda al área. Se coloca una cuadrícula sobrepuesta sobre el área de venta, como se muestra en la figura 13-18. La ciudad de North Shore es el área *E*. Los suburbios que rodean a *E* se denominan como *A-I*. Un estudio de investigación de mercado muestra la siguiente demanda potencial para Old Wheez.

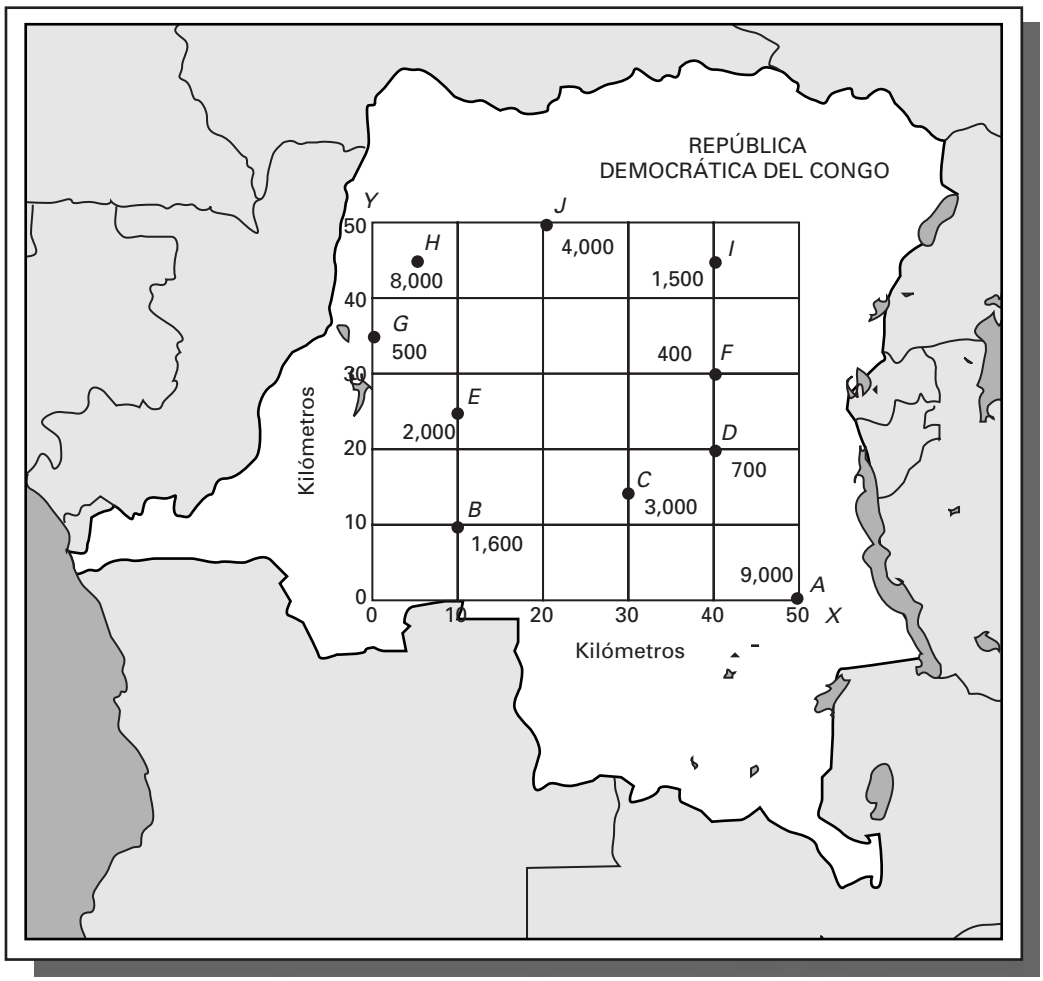
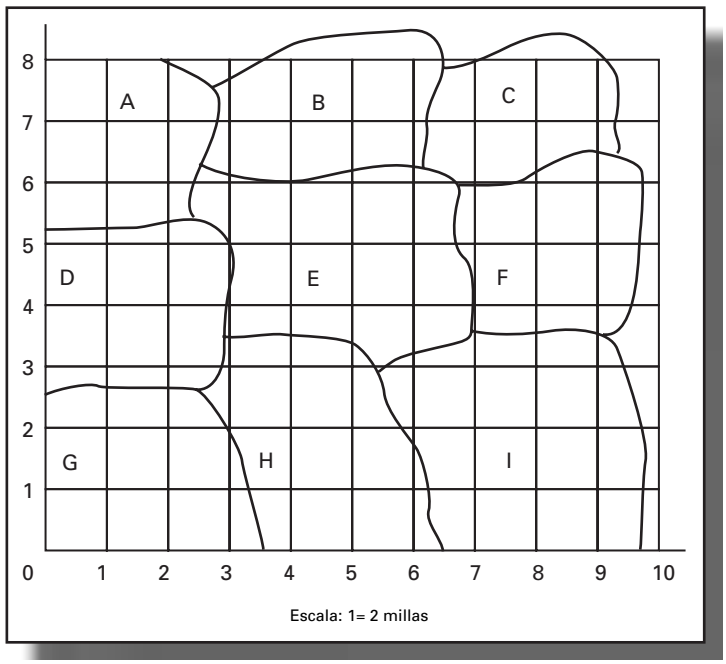


Figura 13-17 Cuadrícula sobrepuesta sobre las concentraciones de pacientes en una región de África.

Área	Volumen anual (cwt.)
A	10,000
B	5,000
C	70,000
D	30,000
E	40,000
F	12,000
G	90,000
H	7,000
I	10,000

Figura 13-18
Sobreposición de cuadrícula del área metropolitana de la ciudad de North Shore.



La demanda proviene principalmente de los distribuidores que están dispersos en forma uniforme sobre el área. Los costos de transportación se estiman en $0.10/cwt/mi.

a. Si se utiliza el método de centro de gravedad, ¿dónde se ubicaría la planta embotelladora? Estime la factura de transportación anual.
b. Si se utiliza el método *exacto* de centro de gravedad para encontrar la ubicación de la planta, ¿dónde debería estar la ubicación? Tiene una diferencia importante en los costos de transportación en comparación con la ubicación obtenida en el inciso a?
c. Si los costos de mano de obra, impuestos a la propiedad y costos de desarrollo del sitio varían con la ubicación, ¿cómo propondría tomar en cuenta estos costos adicionales al decidir la ubicación?

4. Recuerde el problema presentado en la figura 13-10. Resuélvalo, asumiendo que ambos almacenes son públicos y que por tanto, no aplican costos fijos. Resuma su respuesta en términos asignaciones de clientes, de almacenes y de plantas.

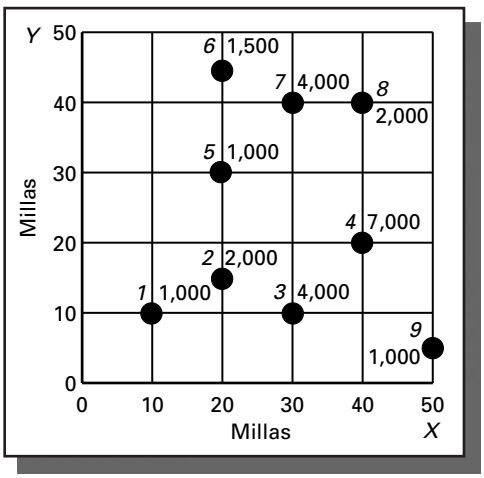
5. Recuerde el problema presentado en la figura 13-10. Resuélvalo, asumiendo que el almacén 2 puede manejar sólo 100,000 cwt. El almacén 1 se ha ampliado para manejar cualquier volumen. La capacidad de la planta sigue sin cambios. ¿Cuánto costo de penalización puede esperarse por este cambio?

6. Recuerde el problema presentado en la figura 13-10. Resuélvalo, asumiendo que el costo fijo en el almacén 2 (W_2) es de $200,000 en vez de $400,000 por año.
7. Desarrolle una lista de factores que crea usted son importantes para decidir la ubicación de
   a. Un centro de colectas de buena voluntad
   b. Un restaurante Wendy's
   c. Una planta de ensamblado de automóviles
   d. Una estación de bomberos

También, indique el peso que asignaría a cada factor.

8. En el problema que se muestra en las figuras 13-6 y 13-13, suponga que el costo asociado con mudarse de una ubicación a otra es $300,000 en vez de $100,000. ¿Qué estrategia de planeación de la ubicación ofrecería los máximos beneficios sobre el horizonte de cinco años?
9. Recuerde el problema de ubicación del incinerador Environment Plus y la información para el problema en el archivo PMED02.DAT del módulo PMED en LOGWARE. Considere las siguientes preguntas adicionales:
   a. ¿Cuántas instalaciones ofrecerán el menor costo de operación más el costo de transportación? ¿Dónde deberían ubicarse estos incineradores? Demuestre que se ha obtenido el mejor número de incineradores.
   b. La compañía actualmente opera cuatro incineradores a un costo anual de operación y de transportación de $35 millones. Los sitios son: Chicago, Atlanta, Phoenix y Denver. El costo de establecer el sitio de un nuevo incinerador es único de $6'000,000 por sitio. ¿Resulta económicamente razonable para la compañía establecer el número óptimo de sitios obtenido en el inciso *a*?
   c. Si el mercado de la Costa Oeste de Los Ángeles y Seattle fuera a crecer 10 veces, ¿su respuesta al inciso *a* sería diferente?
10. Suponga que el banco Farmers desea atender los nueve grupos de clientes como se muestra en la figura 13-19. Ha propuesto ubicar una sucursal *(A)* en las coordenadas $X_1 = 20$, $Y_1 = 20$. Una sucursal competidora se encuentra en las coordenadas, $X_2 = 40$, $Y_2 = 30$. El banco Farmers será una sucursal de servicio completo con un índice de tamaño relativo (grado de atracción) de 1. La sucursal competidora es una instalación de línea parcial (sin cajeros automáticos, ni capacidad de servicio en el auto) con un índice de tamaño de 0.7. El tiempo de traslado de los clientes a un banco se aproxima como T (horas) = $D/50$, donde D es la distancia en millas. El cliente promedio genera $100 en ingreso bruto anual para un banco. El estimado de gastos anuales de operación para la sucursal de Farmers es

Figura 13-19
Número de posibles clientes para sucursales bancarias en una región.



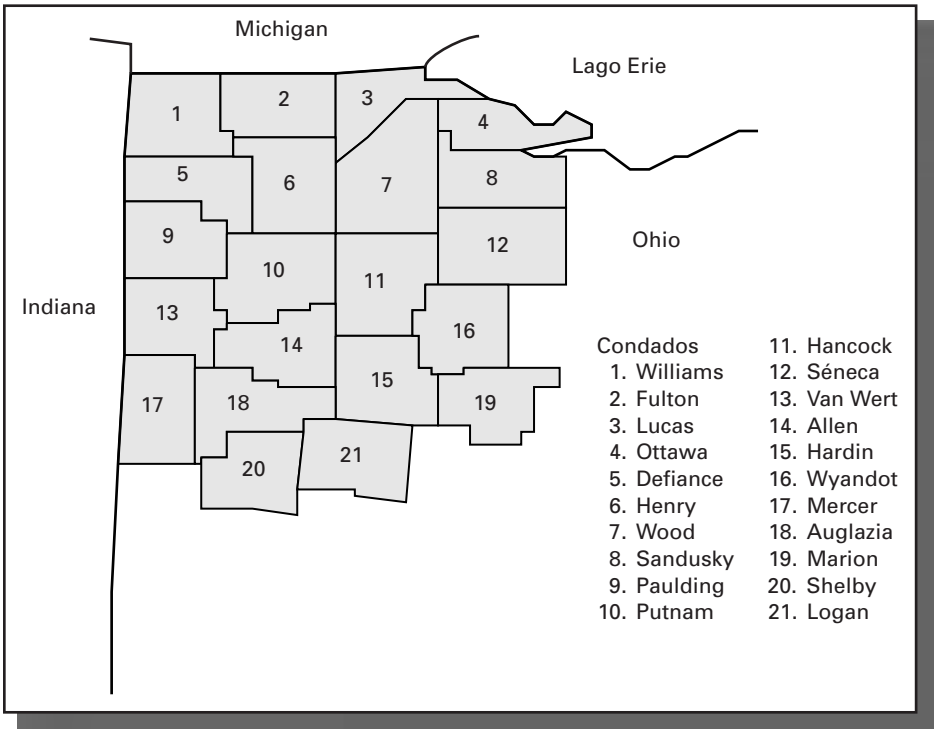


Figura 13-20 Condados del noroeste de Ohio para expansión de la compañía Ohio Trust.

$300,000 y la instalación costará $650,000 (vida de 20 años) sobre un terreno que vale $100,000.

a. Aplique el modelo de gravedad para venta al menudeo de Huff para determinar el ingreso anual de la sucursal. Suponga $a = 2$.
b. Considerando el nivel de la inversión requerida y los gastos operativos, ¿deberá construirse la sucursal?
c. ¿Cuál información adicional desearía tener antes de tomar la decisión final?

IP 11. La compañía Ohio Trust desea expandir su sitio principal de ubicación de negocio hacia los condados del noroeste de Ohio. Las condiciones para la ubicación se señalaron en un ejemplo previo en la figura 13-15 en la página 593. Para los condados identificados en la figura 13-20, encuentre el número mínimo de SPN necesarios y los condados en los que deberán ubicarse (*Nota:* En el módulo MIPROG se preparó una base de datos para este problema).

P 12. Biogenics es una compañía reciente que planea producir materiales biológicos utilizados en la investigación médica. Los principales clientes para sus productos serán los grandes hospitales de investigación ubicados en las principales áreas metropolitanas. La ubicación de los clientes y las ventas anuales proyectadas son las siguientes.

Núm.	Cliente	Latitud,°	Longitud,°	Ventas, lb
1*	Boston	42.31	71.08	50,000
2*	Nueva York	40.72	74.00	75,000
3	Washington	38.89	77.00	45,000
4*	Atlanta	33.75	84.38	65,000
5*	Miami	25.83	80.28	35,000
6*	Cleveland	41.48	81.66	25,000
7	Detroit	42.36	83.06	30,000
8*	Chicago	41.83	87.64	70,000
9	St. Louis	38.63	90.19	20,000
10*	Minneapolis	44.92	93.20	15,000
11	Kansas City	39.10	94.58	10,000
12*	Filadelfia	39.95	75.17	30,000
13*	Houston	29.78	95.38	25,000
14*	Dallas	32.98	96.78	20,000
15*	Phoenix	33.49	112.08	10,000
16*	Denver	39.73	104.98	15,000
17*	Seattle	47.63	122.33	10,000
18	Portland	45.46	122.67	10,000
19*	San Francisco	37.78	122.21	40,000
20*	Los Ángeles	34.08	118.36	80,000

* Indica un sitio candidato

Los productos serán enviados por UPS a una tarifa de transportación que promedia \$0.05/lb/milla. Se estima que los costos operativos anuales *(FOC)* para un laboratorio (planta) están dados por $FOC(\$) = (\$5{,}000{,}000\sqrt{N})/N$, donde N es el número de laboratorios que se opera. Se asume que los proveedores de los materiales utilizados en el proceso de producción están concentrados en Chicago. El peso de adquisición es el mismo que el peso de venta. La tarifa de transportación desde Chicago a los laboratorios se estima en \$0.02/lb/milla.

Determine el número y ubicación de los laboratorios para atender a los mercados potenciales de Biogenics. ¿Cuáles clientes deberán atenderse desde cada sitio? Cada ubicación de cliente es un sitio potencial de laboratorio, excepto los proveedores de St. Louis, Portland, Kansas City, Washington, Detroit y Chicago.

13. Para el problema que se muestra en la figura 13-5 suponga que la restricción de capacidad sobre el almacén 2 (W_2) para ambos productos combinados es 100,000 cwt. No existe restricción de capacidad sobre el almacén 1 (W_1) (*Nota*: La información para el problema mostrado en la figura 13-5 está disponible en el módulo MIPROG de LOGWARE. Las capacidades se encuentran en el punto de inserción de Cap-W1/ZW1 y Cap-W2/ZW2 en la configuración del problema).

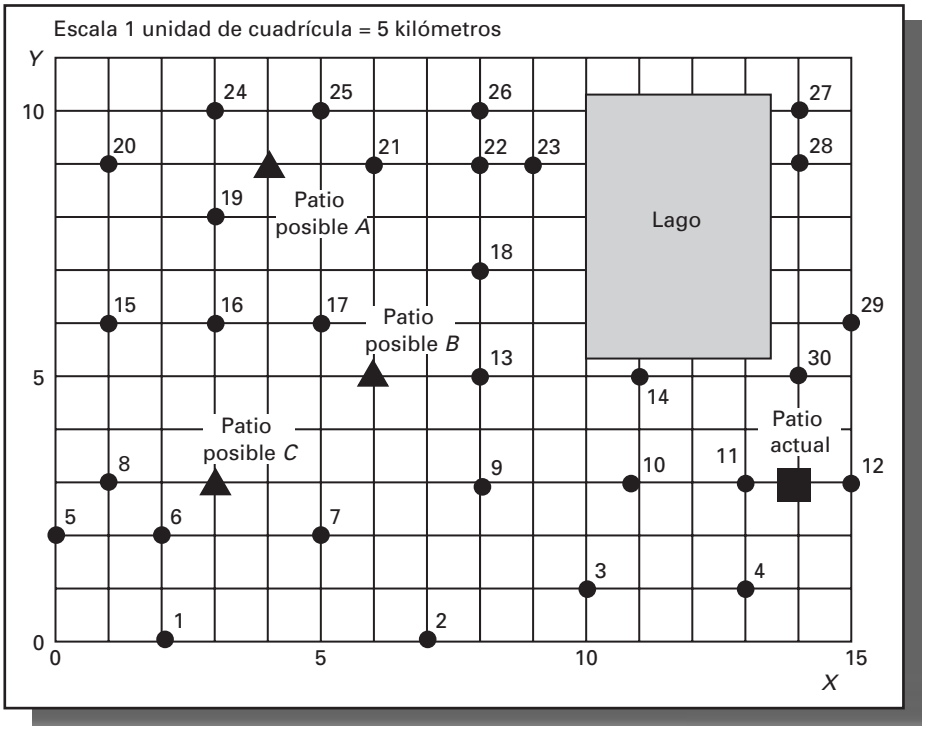
14. Recuerde el problema presentado en la figura 13-5, ¿cómo cambiaría la solución si se hicieran las siguientes modificaciones a la configuración del problema?
    a. Se duplica la demanda del producto 1, pero permanece igual para el producto 2.
    b. El costo de fabricación para el producto 2 se eleva a \$5/cwt. sólo en la planta 2.
    c. El costo de manejo para el almacén 2 se incrementa a \$4/cwt.

d. Existe una capacidad limitada en la planta 2 de 90,000 cwt. para producir el producto 1. La capacidad de la planta 1 se incrementa de 60,000 cwt. a 150,000 cwt. No existen cambios en la capacidad de la planta para el producto 2.
e. El cliente 2 para el producto 2 ya no puede ser atendido desde el almacén 2.

Tabla 13-12
Tiempos entre zonas para la compañía Globe Casualty, en minutos

	Hacia la zona									
Desde la zona	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	5	23	34	15	45	55	25	10	9	19
2		5	18	12	53	37	27	33	26	16
3			5	6	14	41	31	28	24	17
4				5	15	29	45	60	31	23
5					5	25	27	14	39	43
6						5	7	13	42	53
7							5	33	14	8
8								5	26	10
9									5	19
10										5

Figura 13-21 Patrón de demanda diaria típica con ubicaciones de patios de suministro posibles y actuales.



Resuelva en forma *independiente* cada uno de los escenarios de problemas anteriores utilizando el método de programación lineal entero mixto (*Nota:* La configuración del problema para la figura 13-5 está disponible en el módulo MIPROG de LOGWARE.)

15. La compañía Globe Casualty ubica ajustadores de reclamaciones alrededor de un área metropolitana para responder rápidamente a las reclamaciones de seguros resultantes de accidentes de autos, incendios, actos criminales y otras situaciones de urgencia. Es una característica competitiva del negocio de la compañía que un ajustador se encuentre en el sitio dentro de los 30 minutos del tiempo en que se notificó el accidente, para que los clientes sientan que están siendo bien atendidos. La ciudad se ha dividido en diez zonas desde donde se originan las llamadas de contingencia y en las que los ajustadores de reclamaciones pueden estar situados. Los tiempos de respuesta en minutos entre las diez zonas se muestran en la tabla 13-12. Para cumplir con el tiempo de respuesta de 30 minutos, ¿cuántas estaciones de ajustadores deben establecerse y en qué zonas deben ubicarse?

16. Una empresa de suministro para la industria de la construcción provee materiales a los sitios de construcción a través del área metropolitana de la ciudad de México. Se despachan camiones de entrega diaria desde un patio de materiales. En la figura 13-21 se muestra un patrón típico de demanda diaria, donde se ha sobrepuesto una cuadrícula sobre el área metropolitana. El factor de escala del mapa es 1 unidad de coordenada = 5 kilómetros con un factor de circuito de 1.44 para convertir la distancia en línea recta a una distancia aproximada en carretera. La demanda se presenta en kilogramos de mercancía en la tabla 13-13.

Tabla 13-13 Volumen de demanda de los clientes y ubicaciones coordinadas con coordenadas de los patios

Parada	X	Y	Volumen, kg	Parada	X	Y	Volumen, kg
1	2	0	300	16	3	6	300
2	7	0	250	17	5	6	150
3	10	1	600	18	8	7	275
4	13	1	175	19	3	8	375
5	0	2	100	20	1	9	475
6	2	2	375	21	7	9	150
7	5	2	400	22	8	9	475
8	1	3	50	23	9	9	325
9	8	3	100	24	3	10	350
10	11	3	200	25	5	10	225
11	13	3	350	26	8	10	250
12	15	3	100	27	14	10	300
13	8	5	200	28	14	9	200
14	11	5	450	29	15	6	150
15	1	6	225	30	14	5	50
Patio actual	14	3					
Patio *A*	4	9					
Patio *B*	6	5					
Patio *C*	3	3					

Los camiones operan con un costo variable de 2.5 pesos por kilómetro, los salarios de los conductores son 90 pesos por día y un camión se amortiza en 200 pesos por día. Los materiales se almacenan en patios abiertos y en edificios en las ubicaciones mostradas en la figura 13-21. El patio de materiales actual desde donde se despachan los camiones opera a un costo de 350 pesos por día. La compañía está considerando mover sus operaciones. Los patios de materiales potenciales tienen un gasto de operación estimado, incluyendo el gasto de mudanza desde la ubicación actual, de 480 pesos por día para *A*, 450 pesos por día para *B* y 420 pesos por día para *C*. Existen diez camiones disponibles, cada uno con una capacidad de transporte de 1,000 kg, pero no todos pueden necesitarse para cumplir con la demanda promedio. Los camiones se desplazan sobre sus rutas a una velocidad promedio de 32 kph. Por la tarde se les permite a los conductores un descanso de una hora para comer y por lo general regresan al patio antes de que requieran descansos adicionales. Con base en una política de la compañía, las rutas no deben ser mayores a diez horas en un día, y los camiones no pueden abandonar el patio antes de las 8 a.m. Si un camión tiene una ruta corta y regresa para recarga y redireccionamiento, se requieren 1.5 horas para la carga. Los clientes tienen un horario para la entrega entre 8 a.m y 5 p.m. El tiempo para la descarga en la ubicación de un cliente se estima en 15 minutos más 0.1 veces el volumen de parada en kilogramos.

¿Cuál ubicación de patio es la más atractiva desde un punto de vista económico?

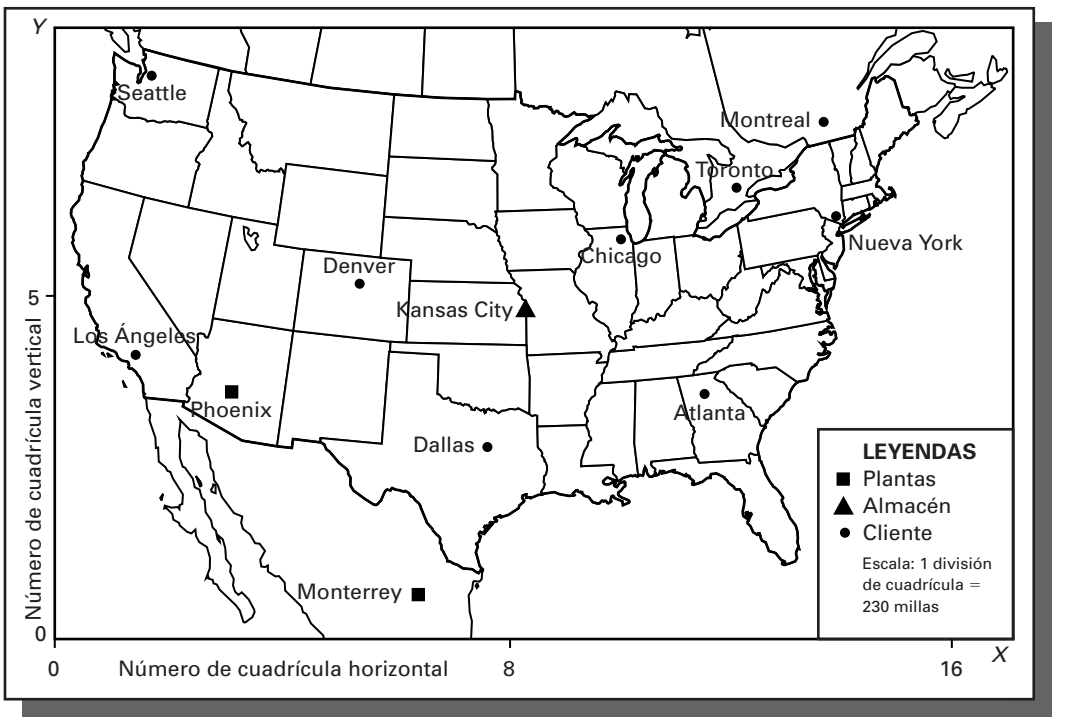
ESTUDIO DE CASO

Superior Medical Equipment Company

La Superior Medical Equipment Company suministra equipo eléctrico que se utiliza como componente en el ensamblado de equipo de resonancia magnética, exploradores CAT y PET, y otros equipos de diagnóstico médico. Superior tiene instalaciones en Phoenix, Arizona, y Monterrey, México. Los clientes de los componentes están ubicados en sitios seleccionados a lo largo de Estados Unidos y Canadá. Actualmente, un almacén, que recibe todos los componentes de las plantas y las redistribuye a los clientes se ubica en Kansas City, Kansas. La figura 1 muestra la ubicación geográfica de estas instalaciones.

La gerencia de Superior está preocupada acerca de la ubicación de su almacén, ya que sus ventas han disminuido debido a la mayor competencia y al desplazamiento de las ventas entre sus clientes. El contrato de arrendamiento del almacén actual está a punto de expirar y la dirección de la empresa desea analizar si debe renovarse o si deberá arrendarse espacio en otro sitio. El propietario del almacén ha ofrecido renovar el arrendamiento a una atractiva tarifa de $2.75 por pie cuadrado por año para la instalación de 200,000 pies cuadrados. Se estima que cualquier otra instalación costaría $3.25 por pie cuadrado para un almacén de tamaño similar. Un nuevo o renovado contrato de arrendamiento tendrá duración de cinco años. Desplazar el inventario, los gastos de mudanza para el per-

Figura 1 Ubicación de las plantas, almacén y clientes de la empresa Superior.



Ubicación de la planta	Volumen anual, cwt.[b]	Tarifa de transporte $/cwt.	Distancia, millas	Coordenadas de cuadrícula[a] X	Y
Phoenix	61,500	16.73	1163	3.60	3.90
Monterrey	120,600	9.40	1188	6.90	1.00
Total	182,100				

[a]Millas = 230 × distancia de coordenadas

Tabla 1 Información de volumen, tarifa, distancia y coordenadas para enviar desde las plantas al almacén de Kansas City en cantidades de carga de camión (categoría 100) para el año más reciente.

sonal clave y otros gastos de ubicación darían por resultado un cargo único de $300,000. Se espera que los costos de operación del almacén sean similares en cualquier sitio.

En el año más reciente, Superior fue capaz de obtener ventas por cerca de $70 millones. Los costos de transportación desde las plantas hacia el almacén de Kansas fueron $2'162,535 y desde el almacén hasta los clientes fueron $4'819,569. Se paga un millón de dólares anualmente como gastos de arrendamiento de almacén.

Para estudiar la cuestión de la ubicación del almacén, se reunió la información que se muestra en las tablas 1 y 2.

Aunque los costos de transporte por lo general no están expresados en una base de $/cwt./milla, dado que los costos de transportación de salida para el año más reciente fueron $4'819,569, la distancia ponderada promedio de los envíos fueron 1128 millas, y el volumen anual despachado fue de 182,000 cwt., la tarifa estimada promedio de salida desde un almacén sería de $0.0235/cwt./milla. ■

Tabla 2 Información de volumen, tarifa, distancia y coordenadas para despachar desde el almacén de Kansas City a los clientes, por camión, en cantidades de 5,000 lbs (categoría 100) para el año más reciente

Ubicación del cliente	Volumen anual, cwt.	Tarifa de transporte, $/cwt.	Distancia, millas	Coordenadas de cuadrícula X	Y
Seattle	17,000	33.69	1858	0.90	9.10
Los Ángeles	32,000	30.43	1496	1.95	4.20
Denver	12,500	25.75	598	5.60	6.10
Dallas	9,500	18.32	560	7.80	3.60
Chicago	29,500	25.24	504	10.20	6.90
Atlanta	21,000	19.66	855	11.30	3.95
Nueva York	41,300	26.52	1340	14.00	6.55
Toronto	8,600	26.17	1115	12.70	7.80
Montreal	10,700	27.98	1495	14.30	8.25
Total	182,100				
Kansas City				8.20	6.00

PREGUNTAS

1. Con base en la información del año actual, ¿es Kansas City la mejor ubicación para un almacén? Si no es así, ¿cuáles son las coordenadas para una mejor ubicación? ¿qué mejora en costos puede esperarse a partir de la nueva ubicación?
2. En cinco años, la administración espera que los mercados de Seattle, Los Ángeles y Denver crezcan en 5%, pero los mercados restantes que desciendan en 10%. Se espera que los costos de transportación no cambien. La producción de Phoenix se incrementará en 5%, y la producción de Monterrey disminuirá en 10%. Bajo estas nuevas condiciones, ¿cambiaría su decisión sobre el cambio de ubicación de almacén? Si es así, ¿cómo cambiaría?
3. Si se esperan para el año cinco incrementos de 25% en las tarifas de transportación de salida de almacén y 15% en las tarifas de entrada de almacén, ¿cambiaría su decisión sobre la ubicación del almacén?
4. Si se utiliza el método de centro de gravedad para analizar la información, ¿cuáles son sus beneficios y limitaciones para ubicar un almacén?

Departamento de licencias para choferes y automovilistas de Ohio

Como miembro de la comisión de planeación para el estado de Ohio, Dan Rogers estaba preocupado acerca de la forma como el estado podría conservar dinero de impuestos al proporcionar servicios a sus residentes. Los recortes esperados en los fondos federales al estado, las dificultades para incrementar tasas de impuestos, y la tendencia general creciente de los costos operativos alentaban una cuidadosa revisión de la forma como los costos podían reducirse a lo largo del estado. Dan tenía un interés particular en la forma como los departamentos de licencias de conductores y automóviles podían operar de forma más eficiente.

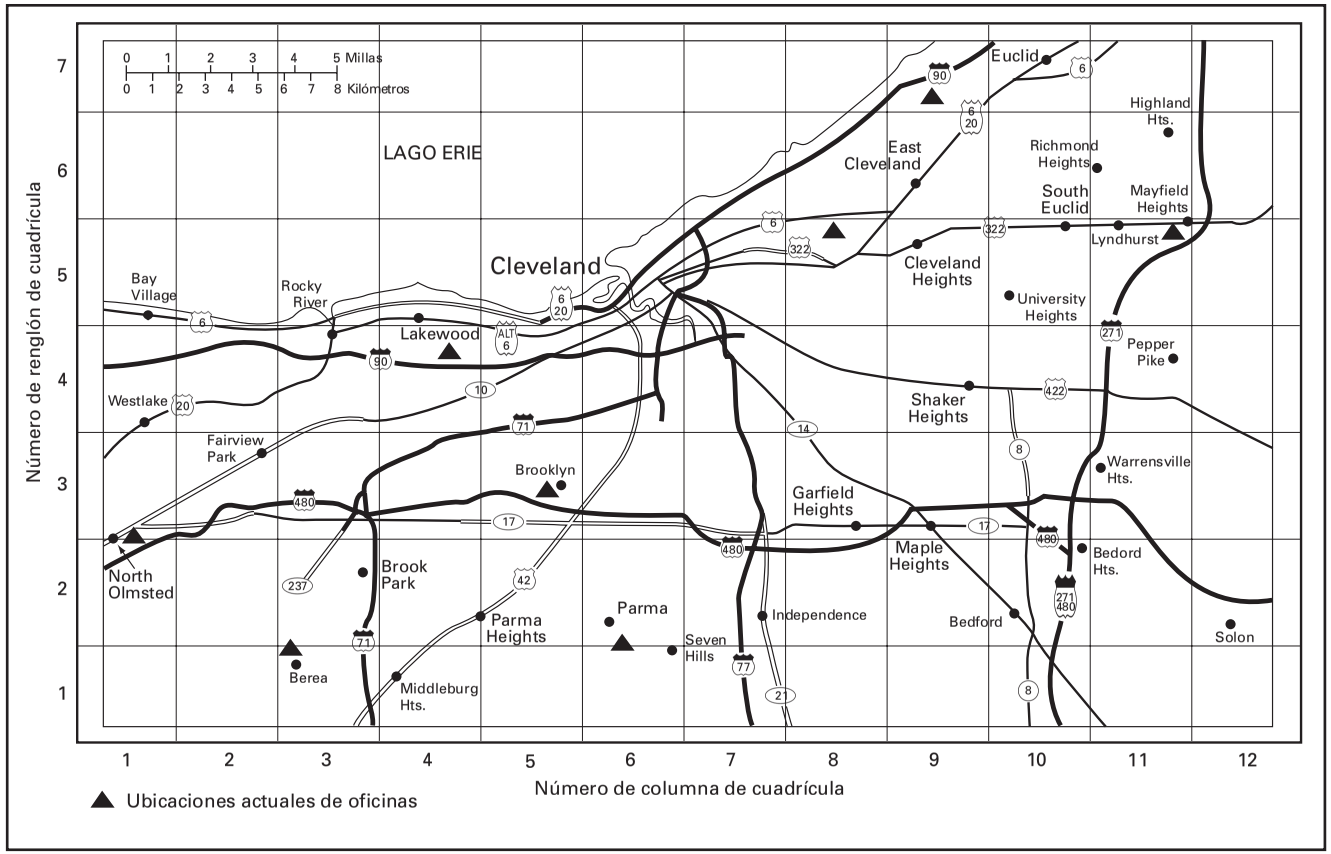
Dan pensó que debía realizarse un estudio para analizar las ubicaciones, tamaños y número de departamentos de licencias en el estado. Los departamentos de licencias emiten calcomanías de licencias para vehículos automotores, licencias de conducir, y registros de vehículos. Los departamentos estaban ubicados a lo largo del estado para conveniencia de sus residentes; sin embargo, el número de departamentos debe ser limitado, debido a los costos fijos asociados con la apertura y mantenimiento del sitio del departamento y con el costo de operarlo. Ya que la población se ha desplazado desde las ciudades centrales hacia los suburbios a lo largo del estado y que la red de departamentos de licencias no ha sido evaluada en años, Dan pensó que existían demasiadas ubicaciones de departamentos y que probablemente estaban en lugares incorrectos. Creía que no solo podían reducirse los costos, sino que el servicio podía mejorarse.

El área metropolitana de Cleveland, Ohio, representa un área de servicio típico que Dan creía que sería una buena región de prueba para ver si podían efectuarse mejoras. En la figura 1 se muestra un mapa de la región. Se sobrepuso una cuadrícula lineal sobre el mapa, con divisiones aproximadamente de 2.5 millas cuadradas. La población de utilizó para representar la actividad relativa en un sitio de departamento de licencias. En la tabla 1 se proporcionan los niveles de población aproximados para cada bloque de cuadrícula, con agrupamiento en el centro de la cuadrícula. Se muestran sobre el mapa las ubicaciones de las oficinas existentes.

Los residentes en general seleccionan una ubicación de oficina que esté lo más cercana a su residencia. Con excepción de las calcomanías de automotores, las cuales pueden también adquirirse mediante un programa de correo, no existe competencia para los servicios de una oficina de licencias. Un elemento principal del servicio al cliente es la distancia que un residente debe recorrer para llegar a una oficina.

Dan realizó algunos estimados generales acerca de los costos involucrados. Los costos de operación de un sitio incluyen cargos de renta

Figura 1 Ubicaciones de departamentos de licencias para choferes y automovilistas del área de Cleveland, Ohio.



Núm. de columna de cuadrícula (X)	Renglón de cuadrícula (Y)						
	1	2	3	4	5	6	7
1	4,100	6,200	7,200	10,300	200	0	0
2	7,800	8,700	9,400	11,800	100	0	0
3	8,100	10,500	15,600	10,500	200	0	0
4	10,700	12,800	13,800	15,600	400	0	0
5	11,500	13,900	14,500	13,700	600	0	0
6	9,300	14,900	13,700	10,200	1,200	0	0
7	10,100	12,600	16,700	15,800	12,400	2,600	0
8	8,800	13,700	15,200	14,100	10,800	17,200	500
9	5,300	16,700	13,800	11,900	13,500	18,600	12,000
10	5,100	17,400	10,300	9,800	10,300	15,500	11,700
11	7,700	9,200	7,500	8,500	7,800	9,900	8,700
12	4,300	6,700	5,800	6,800	5,400	7,100	6,400
Totales	92,800	143,300	143,500	139,000	62,900	70,900	39,300

Tabla 1 Población estimada por cuadrículas de 2.5 millas cuadradas en el área de Cleveland

de espacio, salarios del personal, y servicios. En la tabla 2 se proporcionan los costos del espacio, personal y otros. Para propósitos de planeación, se estima que las tarifas de renta anual serían de $22 por pie cuadrado, los salarios del personal promediarían $21,000 por año incluyendo prestaciones, y que los servicios promediarían anualmente $4 por pie cuadrado. El espacio del sitio necesario sería un mínimo de 500 pies cuadrados para cada 100,000 habitantes de población atendida superior a 100,000. Se necesitaría un mínimo de cuatro empleados, con una persona adicional por cada 100,000 personas por encima de las 100,000 inicialmente atendidas. Dan pensó que podría emplearse una metodología del tipo de centro de gravedad para enfrentar sus preguntas de planeación.

El cierre de un sitio existente implicaría desplazar equipo y pagar gastos de liquidación a cualquier empleado que no sea transferido a

Tabla 2 Ubicaciones actuales de oficinas y estadísticas asociadas.

Núm.	Oficina	Número de renglón de cuadrícula	Número de columna de cuadrícula	Tamaño, pies cuadrados	Personal, empleados
1	Cleveland-Brooklyn	3.0	5.2	1,700	4
2	Cleveland-University Circle	5.5	7.8	1,200	4
3	North Olmsted	2.5	1.2	2,000	5
4	Berea	1.3	2.7	1,800	4
5	Parma	1.5	5.9	1,500	4
6	Lakewood	4.4	4.1	2,200	5
7	Euclid	6.9	9.0	2,700	5
8	Mayfield Heights	5.5	11.2	1,500	5
	Totales			14,600	36

otras ubicaciones. El desplazamiento del equipo contaría $10,000 para cada sitio, y los gastos de liquidación serían aproximadamente de $8,000 por miembro del personal, si alguna posición existente fuera eliminada. Existirían también gastos únicos. Para propósitos de planeación, cualquier equipo no utilizado sería considerado sin valor y se daría como donación de caridad. Para abrir un nuevo sitio más allá de las ocho oficinas actuales se requeriría la adquisición de equipo nuevo ($60,000), si otro sitio no fuera a ser cerrado de forma que el equipo se transfiriera. Los costos iniciales de contratación de personal no transferido serían de $3,000.

Dan se encontraba asombrado por el valor que los residentes daban a la ubicación del departamento. Ya que los residentes utilizaban sus propios medios de transporte y rara vez expresaban su nivel de satisfacción con el efecto de la ubicación del departamento, no existía una forma directa de determinar los beneficios de la ubicación. Sin embargo, él calculó que los residentes incurrían en un costos de recorrido y que su proximidad con los departamentos era importante. Con base en el número promedio de recorridos que los residentes realizaban al departamento, el costo de transportación y la proporción de población que utiliza los departamentos, un estimado del costo anual de recorrido entre la ubicación del residente y el departamento era de 12 ¢ por milla por residente. La cobertura territorial de los departamentos actuales no se conocía. ■

PREGUNTAS

1. ¿Cree usted que existe algún beneficio de cambiar la red de oficinas de licencias en el área de Cleveland? Si es así, ¿cómo debería ser configurada la red?
2. ¿Cree usted que el estudio de Dan Rogers tiene sentido?
3. ¿Qué consideraciones, además de las económicas, debería tener Dan antes de sugerir cualquier cambio en la red?

Cervecería Southern

La cervecería Southern es una cervecería regional de una línea de productos de cerveza. Los mercados para sus productos están limitados a la parte sureste de Estados Unidos, como se muestra en la figura 1. Las cervezas de Southern son favoritas localmente y la demanda está creciendo con rapidez entre los consumidores mayores de 50 años de edad. Sus productos son ligeramente menores en contenido alcohólico y bastante menores en calorías que las marcas más populares. Se promocionan como una opción saludable, y los consumidores están respondiendo con preferencia creciente.

Para atender la mayor demanda de sus productos, se le ha solicitado a Carolyn Carter, directora de logística, una evaluación del efecto sobre los costos operativos de construir una cervecería en Jacksonville, Florida. Esta propuesta surgió a partir del rápido crecimiento en los mercados del sur de su región y de la presión de proyectada sobre la capacidad de la cervecería de Montgomery. Carolyn comenzó su análisis observando que las cervecerías actuales en Richmond, Virginia, Columbia, Carolina del Sur y Montgomery, Alabama, varían en sus capacidades de producción y costos. El costo de producir un barril de productos de cerveza es distinto entre estas ubicaciones, con base en las variaciones en la antigüedad del equipo; tarifas locales de mano de obra; costos de entrega de materias primas a las cervecerías; y diferencias varias de costos resultantes de impuestos locales sobre la propiedad, tarifas de impuestos, y servicios. En la tabla 1 se resumen estos costos y capacidades. Cada cervecería produce una línea completa de producto.

Southern mantiene un precio uniforme ya entregado a los distribuidores de $280 por barril

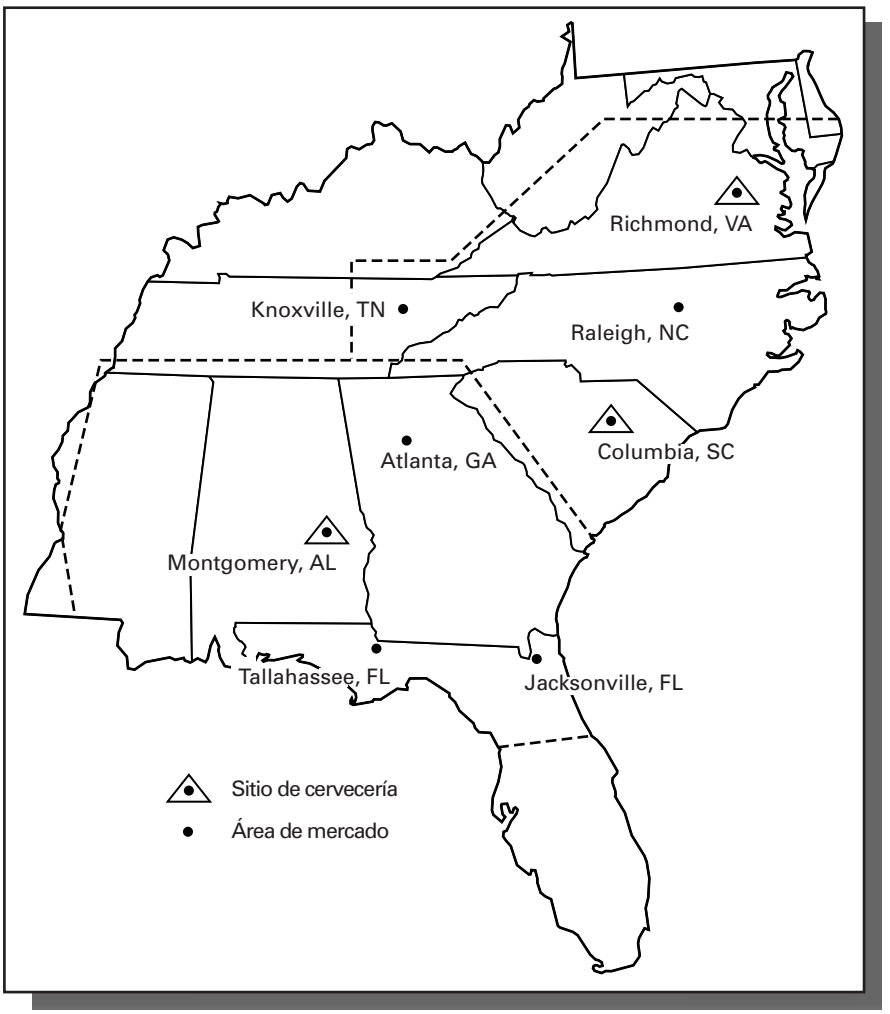


Figura 1 Mapa de las regiones de las plantas y los mercados de la cervecería Southern.

Tabla 1
Costos de producción y capacidades en las tres cervecerías de Southern

Ubicación de la cervecería	Costo de producción, $ por barril	Capacidad anual de producción, barriles[a]
Richmond, VA	$140	100,000
Columbia, SC	145	100,000
Montgomery, AL	137	300,000

[a] Se estima que una unidad de capacidad anual actualmente vale (podría ser vendida por) $50 por barril.

Tabla 2
Ventas anuales promedio actuales por área de mercado y por cervecería de origen

	Área de mercado	Cervecería de origen	Ventas anuales, barriles
1	Richmond, VA	Richmond, VA	56,000
2	Raleigh, NC	Richmond, VA	31,000
3	Knoxville, TN	Columbia, SC	22,000
4	Columbia, SC	Columbia, SC	44,000
5	Atlanta, GA	Montgomery, AL	94,000
6	Savannah, GA	Montgomery, AL	13,000
7	Montgomery, AL	Montgomery, AL	79,000
8	Tallahassee, FL	Montgomery, AL	26,000
9	Jacksonville, FL	Montgomery, AL	38,000
		Total	403,000

a través de su región de marketing. Las ventas actuales promedio anuales de cada cervecería para cada área de mercado se proporcionan en la tabla 2. Se obtiene un margen de utilidad de 20% sobre ventas.

La transportación entre las cervecerías es manejada por una flotilla de camiones privados propiedad de Southern. A partir de los registros de los gastos del camión y del conductor y de las entregas realizadas, Carolyn formó los costos promedio de transporte que se muestran en la tabla 3. Con base en su experiencia con las otras cervecerías, Carolyn estimó los costos de transportación para las cervecerías propuestas.

La principal razón para sugerir una nueva cervecería en Jacksonville es la duplicación aproximada del mercado de Florida, mientras que se anticipa que los mercados restantes crecerán entre 15 y 50%. Se cree que la cervecería de Jacksonville liberaría a la cervecería de Montgomery de atender al mercado de Florida. El patrón de demanda anticipada de cinco años para cada área de mercado y cervecería que la atiende se muestra en la tabla 4.

Se planea una cervecería en Jacksonville con una capacidad de 100,000 barriles. Construir una cervecería de este tamaño se espera que cueste $10'000,000, con una vida útil de 15

Tabla 3 Costos de entrega entre cervecerías y áreas de mercado en dólares por barril

		Cervecería			
	Área de mercado	Richmond	Columbia	Montgomery	Jacksonville[a]
1	Richmond	$ 8.49	$12.54	$19.98	$17.13
2	Raleigh	10.70	9.78	16.35	14.25
3	Knoxville	16.38	12.81	13.80	15.48
4	Columbia	12.54	6.96	12.93	11.16
5	Atlanta	15.48	11.85	10.20	13.80
6	Savannah	14.64	9.54	13.80	9.54
7	Montgomery	19.98	12.93	6.96	13.80
8	Tallahassee	24.30	15.18	13.65	9.72
9	Jacksonville	18.84	12.27	15.18	7.68

[a] Cervecería propuesta

Tabla 4
Ventas anuales promedio proyectadas a cinco años por área de mercado y cervecería de origen propuesta

	Área de mercado	Cervecería de origen	Ventas anuales, barriles
1	Richmond, VA	Richmond, VA	64,000
2	Raleigh, NC	Richmond, VA	35,000
3	Knoxville, TN	Columbia, SC	33,000
4	Columbia, SC	Columbia, SC	55,000
5	Atlanta, GA	Montgomery, AL	141,000
6	Savannah, GA	Montgomery, AL	20,000
7	Montgomery, AL	Montgomery, AL	119,000
8	Tallahassee, FL	Jacksonville, FL; Montgomery, AL; and Columbia, SC	52,000
9	Jacksonville, FL	Jacksonville, FL	76,000
		Total	595,000

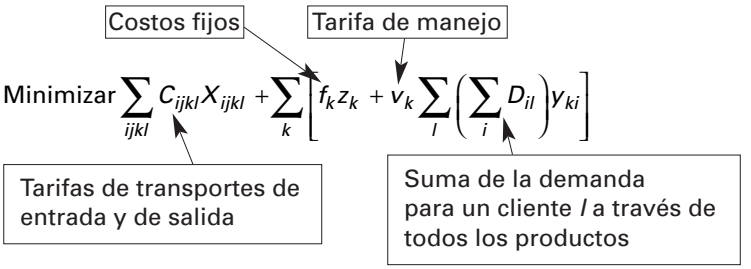
años. La expectativa de la compañía para un proyecto tal es un rendimiento de 20% antes de impuestos, y los gastos de ventas y generales son aproximadamente del 27% de las ventas. Se cree que la nueva cervecería será capaz de producir a un costo de $135 por barril. ■

PREGUNTAS

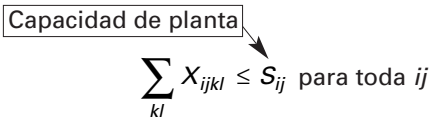
1. Si usted fuera Carolyn Carter, ¿estaría de acuerdo con la propuesta de construir la nueva cervecería? Si es así, ¿qué plan para la distribución sugeriría?
2. Si la cervecería no se construye, ¿qué plan de distribución propondría usted a la alta dirección?
3. ¿Qué consideraciones adicionales deben ser tomadas en cuenta antes de llegar a la decisión final?

Suplemento técnico

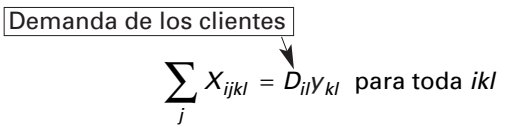
Esta es la formulación del modelo del problema que se muestra en la figura 13-5.[50]



sujeta a:
La capacidad de producción no puede excederse.



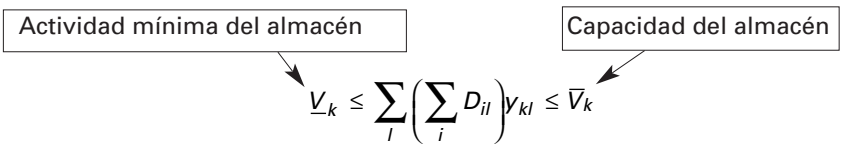
Debe atenderse toda la demanda de los clientes



Cada cliente debe ser atendido por un solo almacén

$$\sum_{k} y_{kl} = 1 \text{ para toda } l$$

Mantener la actividad del almacén entre la actividad mínima $\underline{V}_k$ y la capacidad $\overline{V}_k$



y

Toda $X \geq 0$
Toda $y = 0$ o 1
Toda $z = 0$ o 1

[50] Basado en A.M. Geoffrion, G. W. Graves, "Multicommodity Distribution System Design by Benders Decomposition", *Management Science*, Vol. 20, Núm. 5 (enero de 1974), págs. 822-844.

donde

i = índice para artículos
j = índice para plantas
k = índice para posibles almacenes
l = índice para zonas de clientes
S_{ij} = suministro (capacidad de producción) para el artículo i en la planta j
D_{il} = demanda del artículo i en la zona de demanda l
$\underline{V}_k, V_k$ = Costo mínimo, máximo permitido de posesión y operación anual para el almacén en el sitio k
f_k = parte fija de los costos anuales de posesión y operaciones para un almacén en el sitio k
v_k = costo unitario variable de actividad para un almacén en el sitio k
C_{ijkl} = costo unitario promedio de producir, manejar y despachar un artículo i desde la planta j a través del almacén k hacia la zona de cliente l
X_{ijkl} = variable que denota la cantidad del artículo i desde la planta j a través del almacén k hacia la zona de cliente l
y_{kl} = una variable de valor 0 o 1 que será 1 si el almacén k atiende la zona de cliente l, y 0 si es de otra forma
z_k = una variable de valor 0 o 1 que será 1 si el almacén k está abierto, y 0 de otra forma

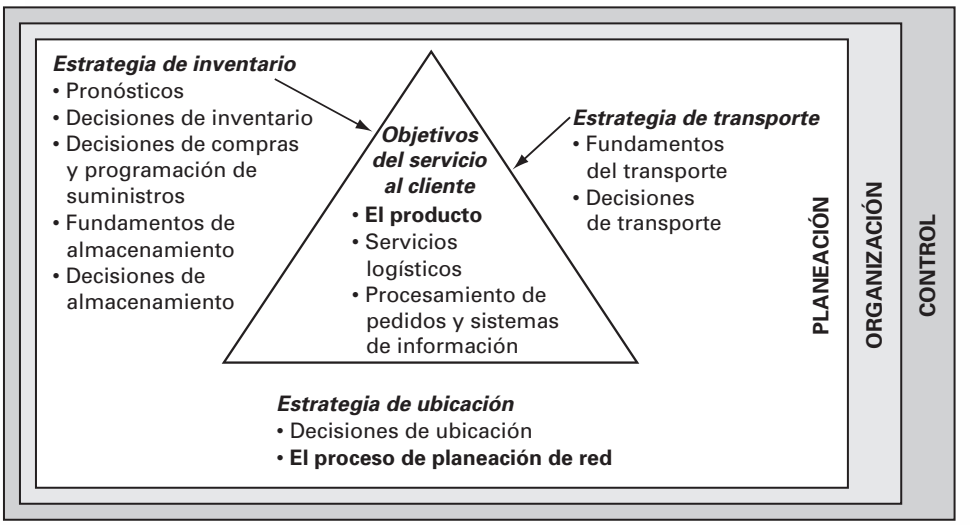
Capítulo 14

Proceso de planeación de la red

Dos canteros trabajaban en la reconstrucción de St. Paul, en Londres, cuando Sir Christopher Wren le preguntó a cada uno qué estaban haciendo. El primero respondió "Yo estoy cortando piedra". El segundo contestó, "Yo estoy construyendo una catedral".

—CHRISTOPHER WREN

Todo proceso que el gerente de logística y de la cadena de suministros utiliza para configurar la red de instalaciones y para definir el flujo del producto a través de éste requiere información, herramientas de computación y un proceso de análisis que lleve a un buen diseño de la red. En este capítulo se analizan los requerimientos de información para es-



te tipo de planeación y el sistema de información que genera los datos necesarios. Luego se consideran los métodos generales mediante los cuales es posible evaluar configuraciones alternativas de manera eficiente. Por último, se analiza un procedimiento general para llevar a cabo el análisis del diseño de la red. Entre todos los problemas de planeación de la cadena de suministros, éste es quizás el más importante, ya que proporciona la estructura básica para edificar la transportación, el inventario y los sistemas de información.

El problema de la configuración de la red

El problema de la configuración de la red es el relativo a la especificación de la estructura a través de la cual fluyen los productos desde sus puntos de origen hacia los puntos de demanda. Esto implica la determinación de las instalaciones que se utilizarán, si existen; el número y ubicación de ellas; los productos y clientes asignados a ellas; los servicios de transporte utilizados entre ellas; el lugar de origen, las actividades entre instalaciones y la distribución hacia los flujos de productos de los clientes; así como los niveles de inventario que se mantienen en las instalaciones. En la figura 14-1 se muestra una red de flujo generalizado de producto, donde la demanda puede atenderse desde almacenes de campo o directo desde puntos de origen, tales como plantas, proveedores o puertos. Los almacenes de campo, a su vez, son atendidos por almacenes regionales o directo desde puntos de origen. Este problema puede representarse en una variedad de formas donde pueden existir más o menos niveles que los mostrados en la figura 14-1, y donde pueden existir diferentes configuraciones, dependiendo de las características de los productos que fluyen a través de la red. Es decir, puede haber más de un diseño de red para los productos de una compañía.

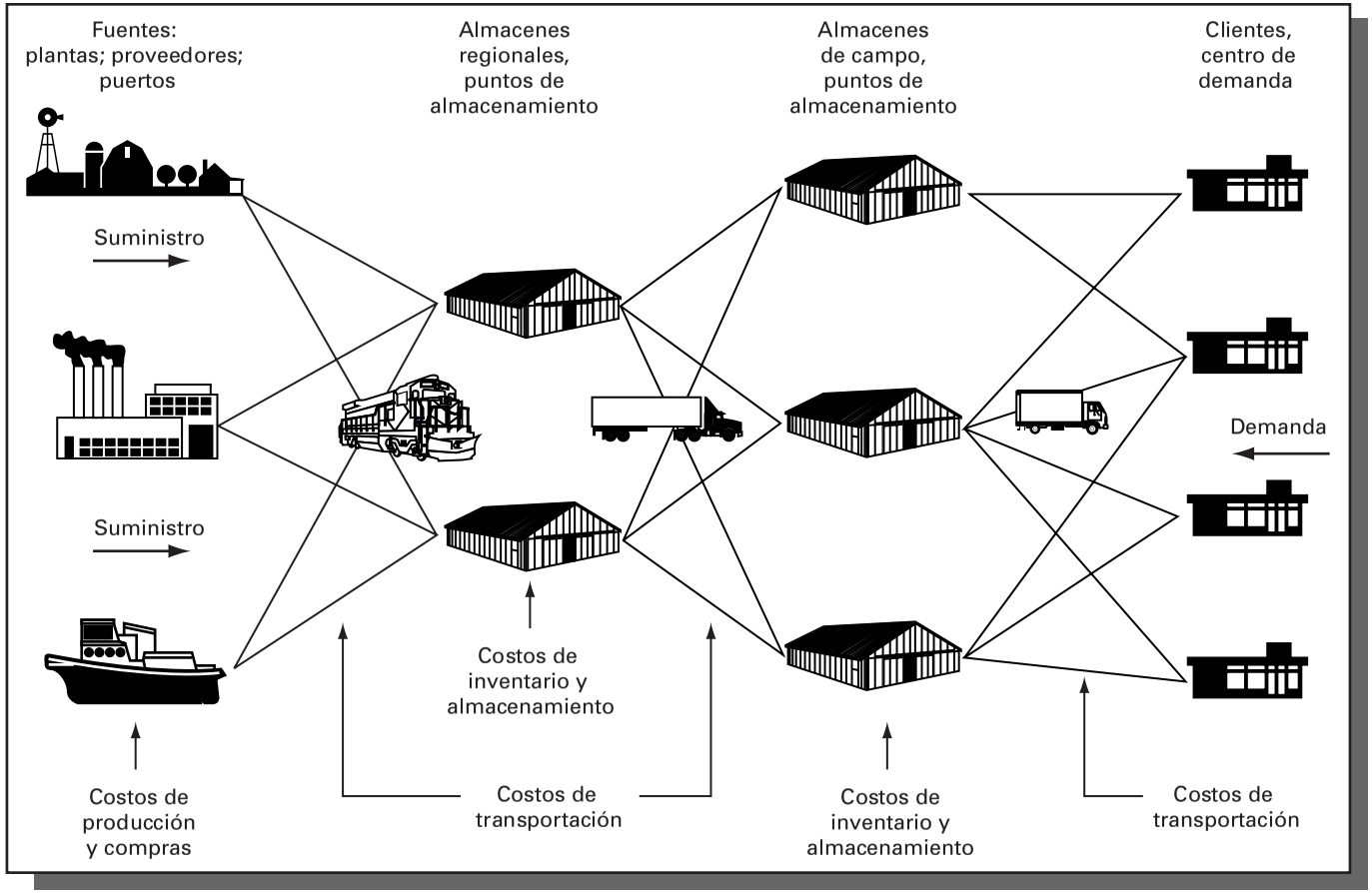
Este problema de diseño de red tiene aspectos espaciales así como temporales. El aspecto *espacial*, o geográfico, se refiere a la ubicación de las instalaciones sobre un plano geográfico, como plantas, almacenes y tiendas de menudeo. El número, tamaño y ubicaciones de las instalaciones se determinan mediante el balance de los siguientes aspectos contra los requerimientos de servicio al cliente expresados geográficamente: costos de producción y de compras; costos de manejo de inventario; costos de la instalación (costos de almacenamiento, manejo y fijos), y costos de transportación.

El problema *temporal*, o de tiempo, dentro de la planeación de red consiste en mantener la disponibilidad del producto para cumplir los objetivos de servicio al cliente. La disponibilidad del producto puede lograrse mediante el tiempo de respuesta de producción/orden de compra o mediante el mantenimiento de inventario en proximidad al cliente. El tiempo del cliente para adquirir el producto es la principal preocupación aquí. El balance de los costos de capital, costos de procesamiento de pedidos y los costos de transportación al cumplir con los objetivos de servicio al cliente dictará la forma en que los productos fluyan a través de la red. Las decisiones con base temporal también afectan la ubicación de instalaciones.

Aplicación

Cuando la corte ordenó a la compañía American Telephone & Telegraph (AT&T) desinvertir de las operaciones locales de telefonía, se crearon siete nuevas compañías telefónicas regionales para proporcionar estos servicios. Western Electric Company, una subsidiaria

Figura 14-1 Red generalizada de flujo de productos.



de AT&T, mantuvo el almacenamiento para operaciones locales de telefonía, pero permaneció con AT&T después de la desinversión. Las nuevas compañías telefónicas, cada una con ingresos que iban desde $500 millones hasta $700 millones anuales, recibieron la orden de salir de los almacenes existentes de Western Electric, dejando a las nuevas compañías sin una red logística para suministro de partes, componentes y suministros para los instaladores locales. La primera orden del negocio fue configurar redes logísticas de almacenes, inventarios y rutas e itinerarios de camiones para cumplir los requerimientos de servicio para cada una de las nuevas compañías telefónicas emergentes. Cada compañía telefónica realizó un estudio de la configuración de red.

La configuración de red no puede estar limitada a los movimientos hacia adelante de los bienes desde los proveedores hacia los clientes, ya que en algunos casos las empresas deben retirar, desde ubicaciones en etapas inferiores, artículos como materiales de empaque (p. ej., tarimas), productos arrendados (como máquinas copiadoras), bienes dañados (motores de autos reemplazados), y productos que serán retrabajados y revendidos (p. ej., cámaras desechables). Esta red de reversa con frecuencia se sobrepone a la red hacia adelante y debe estar integrada a ella. La planeación de la red es complicada cuando los canales hacia adelante y en reversa no pueden separarse debido a instalaciones compartidas.

El problema de la configuración de la red es de gran importancia para la alta dirección. Resulta común que el rediseño de la red logística pueda generar ahorros anuales desde 5 hasta 15% de los costos logísticos totales. Cuando consideramos una compañía, como la corporación Whirlpool que anualmente gasta $1,500 millones de dólares en logística, un ahorro de 10% da por resultado $150’000,000 por año. Con reducciones de costo de esta magnitud, no es difícil ver por qué la reconfiguración de la red encabeza la lista de temas de planeación. Esto, naturalmente, es adicional a los beneficios que el diseño de red puede tener sobre el servicio al cliente y la mejor competitividad de la empresa.

Datos para planeación de la red

Lista de verificación de datos

La planeación de red puede requerir una base de datos sustancial que se derive de muchas fuentes. Aunque cierta información pueda ser específica de un problema particular de configuración de red, buena parte de la base de datos puede generalizarse. Puede incluir

- Un listado de todos los productos en la línea de producto
- Ubicaciones de los clientes, puntos de almacenamiento y puntos de suministro
- Demanda de cada producto por ubicación de clientes
- Tarifas o costos de transportación
- Tiempos de tránsito, tiempos de transmisión de pedidos, y ritmos de surtido de pedidos
- Tarifas o costos del almacenamiento
- Costos de producción/compras
- Tamaños de envío por producto
- Niveles de inventario por ubicación por producto y los métodos para controlarlos
- Patrones de pedidos por frecuencia, tamaño, temporada y contenido

- Costos de procesamiento de pedidos y cuando se incurran
- Costo de capital
- Metas de servicio al cliente
- Equipo e instalaciones disponibles con limitaciones de capacidad
- Patrones de distribución sobre la forma como se cumplen las ventas

Fuentes de información

La mayoría de las empresas no tiene sistemas formales de información logística que específicamente generen la información necesaria para la planeación logística del tipo mencionado. Esto deja al encargado de la logística la responsabilidad de adquirir la información necesaria a partir de una variedad de fuentes, tanto internas como externas, para la empresa. Las principales fuentes de tal información incluyen documentos operativos del negocio, reportes de contabilidad, investigación logística, información publicada y criterio personal.

Documentos operativos del negocio

Toda empresa genera muchos documentos para administrar los distintos aspectos del negocio. Algunos de ellos pueden estar relacionados con las actividades logísticas, pero muchos otros se preparan para otros propósitos. Estos pueden también proporcionar datos pero no información que sea directamente utilizable para la planeación. Ahora analicemos algunos de estos documentos, comenzando con el pedido de ventas.

El pedido de ventas, y su documentación acompañante, es una fuente primaria de datos a partir de la cual puede derivarse una variedad de información esencial de logística. Las ubicaciones de los clientes, los niveles de ventas de productos en el tiempo y por ubicación, los términos de las ventas, las ubicaciones de atención, los tamaños de envíos, el estatus del inventario y ritmos de atención/surtido de pedidos, y los niveles de servicio al cliente son sólo algunos de los tipos de información que pueden obtenerse a partir del sistema de procesamiento de pedidos de venta. Es muy común que las compañías almacenen tales datos en computadoras. Esto ayuda en su extracción y manipulación para obtener la información necesaria para la planeación.

Aplicación

Para finalizar un estudio de ubicación de almacén, se le solicitó a una compañía de especialidades químicas, por parte de su consultor en administración, que proporcionara datos sobre las ventas en todo el país para productos químicos y pinturas, y descomponer los datos de ventas por cuentas grandes y pequeñas. Ya que la compañía mantenía sus transacciones de ventas en una base de datos de computadora, podía consultarse y ordenarse esta base de datos para que proporcionara los datos necesarios de ventas para un año completo. Además, las transacciones de ventas podían cruzarse con un archivo de clientes que contenía códigos postales de Estados Unidos. La recopilación de códigos postales contiguos en cerca de 200 regiones de ventas permitió que las ventas se agruparan en número manejable de territorios. Todo esto se realizó sin la necesidad de alguna manipulación manual de los datos.

La venta, manufactura, compra, envío, almacenamiento y manejo son actividades primarias que las empresas realizan sobre una base regular. Ya que deben ser medidas y

controladas, con frecuencia se emiten reportes acerca de su situación. El responsable de la logística utiliza estos informes para generar información básica sobre los niveles de actividad. Por ejemplo, si estuviéramos interesados en el porcentaje de envíos realizados desde un almacén en cantidades particulares de pesos, las facturas de carga o un reporte conteniendo envíos individuales, cobros y el transportista utilizado, podrían ser fuentes apropiadas para tal información. Estos datos en bruto pueden ser transformados en una distribución de frecuencia de tamaños de envío.

Aunque no sería práctico aquí analizar todos los reportes de actividad y documentos generados en el curso normal de las operaciones del negocio, es justo decir que los documentos de negocio son una rica fuente de mucha de la información que el responsable de logística requiere para la planeación de red. También es importante observar que existe información adicional disponible a partir de datos informales que los individuos dentro de la compañía generan para su propio uso.

Informes de contabilidad

La información de contabilidad también es una importante fuente de datos internos disponible para el responsable de la logística. La información de contabilidad se centra en identificar los costos de operación, incluyendo los costos de actividades logísticas.

La práctica contable, en general, realiza un excelente trabajo al dar a conocer la mayor parte de los costos logísticos. Sin embargo, mucha de la práctica contable está dirigida hacia los intereses de los accionistas y no a los del directivo. Esto es particularmente cierto para la planeación de la red logística. Dentro de los lineamientos de la práctica contable aceptada, algunos costos importantes no se informan, como los de mantenimiento del inventario y el de obsolescencia del inventario. Otros se manifiestan de manera confusa para el proceso de planeación. Es decir, ¿el costo del artículo de línea para recolección de basura en un reporte de contabilidad del almacén debiera ser catalogado como costo fijo, de almacenamiento o de manejo? No obstante, tales datos de contabilidad permanecen como la fuente principal de la información de costos.

Investigación logística

La investigación proporciona información que ni un sistema de procesamiento de pedidos en operación ni un sistema de contabilidad es probable que generen. Aunque existe un bajo nivel de investigación logística formal que se lleva a cabo por las empresas, tal esfuerzo puede ser muy valioso para definir las relaciones básicas útiles para la planeación de red, como las relaciones de ventas-servicio y las relaciones de tarifa de transporte-distancia. Cuando tal investigación se lleva a cabo, es común que sea realizada por grupos de consultoría interna o externa y por profesores universitarios.

La investigación logística también puede conducirse en forma indirecta en beneficio de la empresa. Asociaciones comerciales como el Council of Logistics Management[1] y el Warehouse Education Research Council[2] con regularidad patrocinan esfuerzos de investigación e informan los resultados en publicaciones distribuidas a sus miembros así como a sus no miembros. Es una fuente valiosa de información logística acerca de las otras empresas en la misma industria, y en otras industrias. Tal información mejora o complementa la información proveniente de las fuentes anteriormente recomendadas.

[1] www.CLM1.org
[2] www.WERC.org

Información publicada

Mucha de la información secundaria y en ocasiones de la primaria está disponible para el responsable de la logística proveniente del exterior de la compañía. Las revistas comerciales,[3] los informes de investigación patrocinados por el gobierno[4] y las publicaciones académicas[5] son ejemplos de fuentes de información sobre costos y tendencias de la industria, avances tecnológicos, niveles de actividad y pronósticos.

Criterio personal

Los ejecutivos, consultores, personal de ventas y personal operativo de la empresa, así como los proveedores representan fuentes de información y son parte de la base de datos logística. Con frecuencia se requiere poca inversión para acceder a esta fuente de información rápidamente disponible.

Codificación de la información

El manejo de la información se facilita mediante varias técnicas que se han utilizado para codificar los datos. Entre ellas se halla la codificación de producto y la codificación geográfica.

Codificación del producto

La tecnología de computación, el láser y la holografía nos han aportado una forma de ingresar información a los bancos de memoria de computación sin la necesidad de captura manual. Los códigos de barras, ahora tan populares para la captura de datos, permiten que los productos, paquetes y envíos sean identificados por la lectura óptica de un sistema de numeración. Esto facilita la rápida y precisa transferencia de información, así como su manipulación al ordenarla, seleccionarla y reagruparla en la información requerida para la planeación. Debe ponerse particular atención al diseño del código que tal vez proporcione la información útil para la planeación así como para operaciones.

Geocodificación

La información de ventas con frecuencia es recopilada por la empresa sobre una base de cliente por cliente con referencia a los clientes por nombre y dirección. La planeación de red se facilita si la información de ventas está referida a una base geográfica en vez de una base contable. El análisis de las decisiones de transportación, las decisiones de ubicación de instalaciones, y las decisiones de inventario se ven mejoradas con una base de datos de este tipo.[6] Para el responsable de planeación de la red, una cuenta de cliente es una ubicación, y una distancia desde las otras cuentas. De preferencia, la información logística deberá referirse a un código geográfico de cliente.

La codificación geográfica de información puede realizarse en varias formas. Un método simple es colocar una cuadrícula lineal sobrepuesta en un mapa y utilizar los núme-

[3] Por ejemplo, Transportation & Distribution, Distribution, American Shipper, Inbound Logistics, Warehousing Management, Modern Materials Handling, Traffic Management, y Transport Topics.
[4] Por ejemplo, los informes RAND y los muchos datos disponibles de Superintendent of Documents, Washington, DC.
[5] Por ejemplo, Journal Operations Management, Transportation Journal, Management Science, Logistics and Transportation Review, International Journal of Physical Distribution and Materials Management, IIE Transactions, Journal of Business Logistics, International Journal of Logistics Management.
[6] Una base de datos relativa al tiempo también es una base importante sobre la cual recopilar información. Se podría discutir que los clientes están más interesados en las dimensiones de tiempo del servicio en vez de las dimensiones geográficas, y que el diseño de la red debería estar basado en el tiempo. Sin embargo, las redes se diseñan en forma más práctica alrededor de una dimensión geográfica.

ros de cuadrícula horizontales y verticales como el código. Por ejemplo, se coloca una cuadrícula sobre un mapa de Europa, como se muestra en la figura 14-2. Muchos mapas proporcionan coordenadas de latitud y longitud que también pueden utilizarse, o estas coordenadas se pueden obtener utilizando un dispositivo con sistema de posicionamiento global. Luego se localiza la información de los clientes y de las ventas dentro de las distintas celdas definidas por la cuadrícula. Es decir, una cuenta de cliente ubicada dentro la celda señalada con una cruz sería acumulada junto con otras cuentas que caigan dentro de la celda. Todas se manejan como si se ubicaran en el punto medio o en el centro de la celda. El código de localización sería 008011, como se muestra en la figura 14-2, el cual es una combinación de coordenadas horizontales y verticales. Toda la información haría referencia a éste y a otros números similares, como se muestra en la tabla 14-1.

Figura 14-2 Cuadrícula simple lineal colocada sobre un mapa de Europa Oriental.

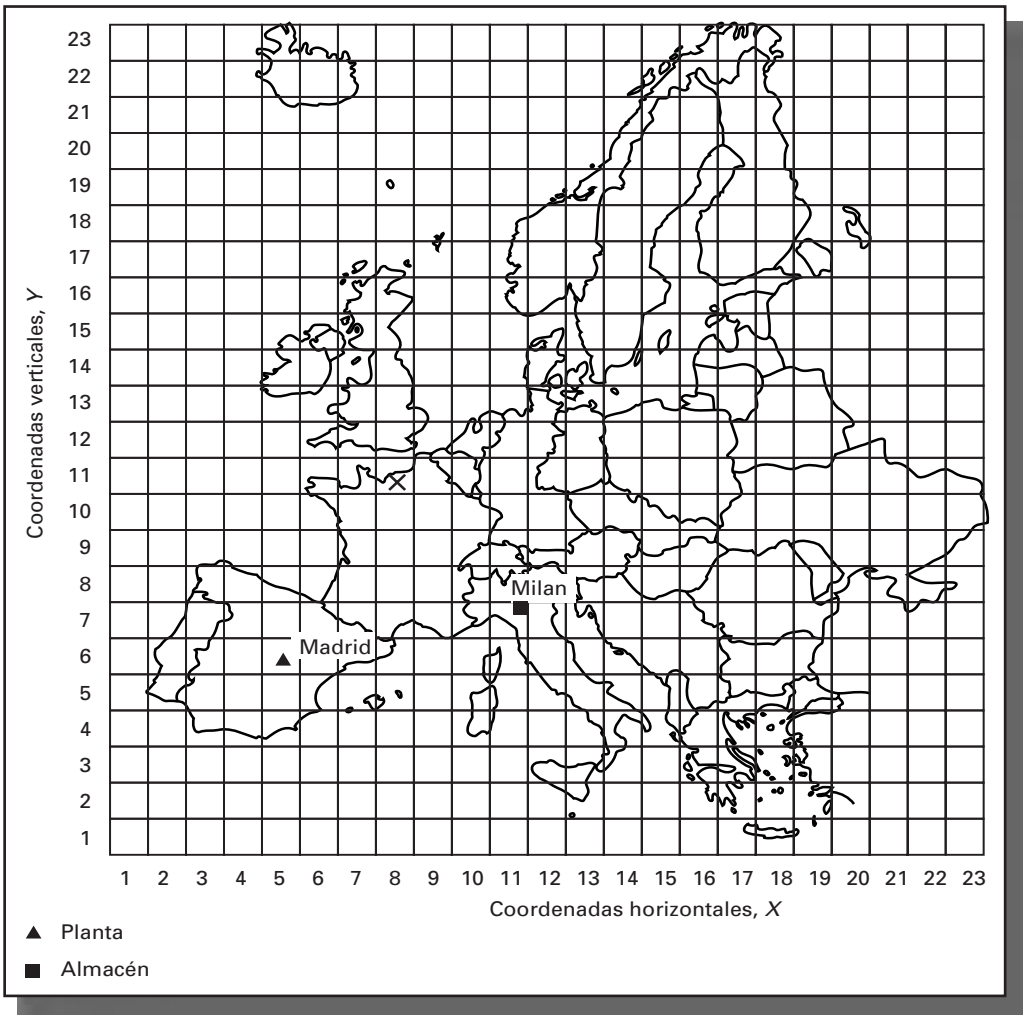


Tabla 14-1 Ejemplo de información de un pedido de ventas hipotético resumido alrededor de un código de ubicación de cuadrícula

Código de celda de ubicación de cuadrícula de cliente[a]	Número de cuentas en la celda	Ventas totales anuales	Carga de envío anual total	Tamaño promedio del pedido, unidades[b]	Requerimiento promedio de servicio al cliente[b]	Código de localización de la planta que atiende	Código de localización del almacén que atiende
001002	0	$0	0 lb	0	—	—	—
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
006009	123	890,000	600,000	153	1	005006	011007
007009	51	401,000	290,000	136	1	005006	011007
006008	37	295,000	175,000	127	2	005006	011007
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
006012	96	780,000	550,000	156	1	005006	011007
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.

[a] Los números de cuadrícula se refieren a la figura 14-2.
[b] Los requerimientos se expresan en número de días para una entrega aceptable al cliente

El tamaño de la cuadrícula será un balance entre una excesiva concentración de información y la pérdida resultante de precisión para representar la información, así como la innecesaria complejidad y costo asociado con celdas de cuadrícula tan pequeñas que no logren agrupar clientes similares, y por lo tanto no se obtenga beneficio al promediar.

Además, se encuentran disponibles numerosos códigos geopolíticos, de superficies especializadas y de ubicación de cuadrículas. Una encuesta de este tipo de sistemas de geocodificación nacional identificó 33 sistemas distintos de codificación, ocho de los cuales eran códigos de cuadrícula y coordenadas.[7] Además de los códigos de cuadrícula y de longitud-latitud, existen otros códigos populares para propósitos de planeación logística. En Estados Unidos, y también en otros países, los códigos geográficos desarrollados para la entrega postal son muy populares. Con frecuencia funcionan como una base para determinar las distancias entre puntos, sobre las que se establecen las tarifas de transporte, ya que típicamente están ligados a la información de ventas de la compañía. En Estados Unidos, el código de localización de puntos estándar se utiliza con frecuencia en la clasificación computarizada de transporte y en sistemas de programación de rutas. La Standard Metropolitan Statistical Areas se utiliza con frecuencia en el análisis de marketing, lo cual puede ser motivo para ligar el análisis logístico a ellas. PICADAD, sistema computarizado de puntos de referencias utilizado por la Oficina del Censo de Estados Unidos, en su División de Transporte, apoya en la tabulación y el análisis de flujos de tráfico.

Aplicación

SMC^3 Consolidated, compañía que suministra tecnología, herramientas e información a la comunidad transportista, ofrece tarifas de transportación en forma electrónica, como lo hacen algunas empresas, como Yellow Freight Systems and Roadway. La base de datos y el programa de computadora llamados CzarLite^{TM} permiten al usuario localizar una tarifa entre dos puntos cualesquiera dentro de la ciudad mediante sus códigos postales de cinco dígitos. Los códigos postales funcionan como código conveniente de ubicación en vez de los nombres de la ciudad y del estado, que se utilizarían de otra forma. Las tarifas para otros transportistas comunes, UPS y FedEx están disponibles en forma similar y se pueden localizar en Internet.[8]

Debido a que los números de referencia en estos códigos se refieren a una área o a un punto, es posible la manipulación matemática de los números de código para determinar distancias y tiempos de recorrido, y para estimar tarifas de transportación entre pares de áreas o puntos. Esta facilidad de manipulación de información es de gran ventaja en el análisis de ubicación de instalaciones y para aproximar costos de transportación.

La codificación por lo general requiere sólo de las operaciones aritméticas más simples. Como puede observarse en la tabla 14-1, un listado como éste se genera al ordenar la información de acuerdo con el código geográfico y mediante la suma y promedio de la información para cada categoría de datos. Este tipo de información codificada con frecuencia se almacena como informes en papel en la forma de tarifas de transportación, costos

[7] Pamela A. Warner, *A Survey of National Geocoding Systems,* Technical Report Núm. DOT-TSC-74-26 (Washington, D.C. Superintendent of Documents, U.S. Government Printing, 1974).
[8] Ver www.UPS.com y www.Fedex.com

de inventario o registros de niveles de inventario, para ser recuperados cuando se requieran para la planeación.

Conversión de datos en información

Los datos son hechos sin ningún propósito particular. Una vez reunidos, requieren ser organizados, resumidos, agrupados, unidos, o aparte de eso, acomodados en una forma que apoye el proceso de planeación de red. Cuando se realiza esto, los datos se vuelven información para la toma de decisiones. Para el problema del diseño de redes, queremos mirar los elementos de información clave y su generación.

Unidades de análisis

Para comenzar con la planeación de red, necesitan decidirse las dimensiones que serán utilizadas en el análisis. Las elecciones comunes son alguna forma de medida de peso (lb, cwt, tons o kg), una medida monetaria (dólar, libra o yen), conteo físico (cajas, unidades o toneles) o una medida de volumen (galón, unidades cúbicas o litro). Una medida de peso es la elección preferida de los responsables de la logística para la mayoría de los problemas de planeación, ya que las tarifas de transportación, un costo dominante dentro de la planeación de red, por lo general se expresan en esta dimensión. La medida que se utiliza en general por los directivos puede ser una consideración preponderante, ya que la base de datos de la compañía y el entendimiento de las operaciones están en términos de esta dimensión. Por ejemplo, las empresas involucradas principalmente en distribución al menudeo ven su negocio en términos monetarios, en tanto que las empresas fabricantes por lo general utilizan una medida de peso. Una vez que se ha decidido la unidad de análisis, todos los costos relevantes para el análisis necesitan alinearse con esta dimensión.

Agrupación de productos

Las compañías tienen cientos de miles de artículos individuales en su línea de productos. Esta variedad se presenta no sólo porque existan variaciones en los modelos y estilos de productos, sino también porque el mismo producto se empaca en muchos tamaños (p. ej., la pasta de dientes se puede ofrecer en tamaños de viajero, regular, económica y familiar, así como también en empaques de tubo y de bomba). Reunir toda la información necesaria y realizar el análisis no sería práctico para tantos productos. La agrupación de los artículos en un número razonable de grupos de productos es un método práctico para este problema. Buscamos realizar esta agrupación sin reducir sustancialmente la precisión de la solución.

Muchos de los artículos en toda línea de productos no presentan patrones distintos de distribución. Es decir, pueden ser almacenados en las mismas ubicaciones, combinados sobre el mismo transporte, y destinados para los mismos clientes. Queremos aprovechar esto mediante la agrupación de aquellos productos que comparten el mismo canal de distribución, pero crear agrupaciones separadas para los que no lo hacen. Algunas agrupaciones comunes serían las de los productos que se envían directo al mayoreo a los clientes debido a su alto volumen de pedido; y para los que se envían a través de un sistema de almacenes debido sus requerimientos de bajo volumen de pedido. La agrupación de productos mediante la categoría de transporte de la mercancía es otro método. Naturalmente, una compañía puede querer agrupar productos con base en sus agrupaciones de ventas simplemente debido a que la dirección de la empresa entiende esta descomposición. Cualquiera que sea el método utilizado para crear familias de productos, la agru-

pación en general es sustancial. Es común no necesitar más de 20 grupos de productos para un análisis de red.

Aplicación

Ford Motor Company adquiría motores, transmisiones y partes de dirección para sus 13 plantas de ensamblado del este de Estados Unidos de varios proveedores en Europa. El patrón de distribución normal era desplazar estas partes desde las plantas del proveedor en regiones interiores europeas hacia puertos europeos, hacia puertos norteamericanos y hacia plantas de ensamblado final ubicadas en el interior de este país. Se consideró un almacén de escala para su ubicación entre los puertos de Estados Unidos y las plantas de ensamblado final. Ya que la motivación para el almacén era ahorrar en inventarios, la descomposición natural de los productos fue por tamaño de envío. Es decir, la demanda se dividió en cantidades menores de una carga de contenedor y cantidades de una carga completa de contenedor, ya que la motivación para el almacén era un balance entre los costos de transportación y los costos de manejo de inventario. El tamaño de contenedor preferido fue la variable utilizada para decidir grupos de productos. Una descomposición por tipo de producto no tenía sentido.

Estimación de la tarifa de transportación

En la planeación de red, las tarifas de transportación se convierten en un problema principal debido al posible número de ellas. Para una red pequeña de sólo dos grupos de productos, cinco intervalos de peso de envío, 200 clientes, 5 almacenes y 2 plantas, existen $2 \times 5 \times 200 \times 5 \times 2 = 20{,}000$ tarifas necesarias para representar todas las combinaciones de flujo de productos. Alguna forma de estimación de tarifas agilizaría el cálculo y liberaría al personal de la compañía del agobio de buscar o adquirir tantas tarifas. Tal estimación debe reconocer el tipo de transportación utilizada, ya sea propia o contratada.

Transporte propio

La estimación de una tarifa efectiva para el transporte propio, por lo general camiones, requiere el conocimiento de los costos de operación y de la forma como se enrutan los vehículos a sus puntos de entrega o recolección. Por lo regular se mantienen registros adecuados de los costos de operación, que incluyen sueldos y prestaciones de los conductores, mantenimiento del vehículo, seguros, impuestos, depreciación y gastos generales. El kilometraje se registra por las lecturas del odómetro. Por lo tanto, se obtiene fácilmente un costo por milla.

Ejemplo

La compañía Grand Island Biological fabrica y distribuye medios de cultivo para el desarrollo e identificación de ciertas bacterias útiles en la investigación médica. Los clientes principalmente son los grandes complejos de investigación médica ubicados en áreas como Nueva York y Washington, D.C. Para evaluar el transporte privado por camiones (pequeñas camionetas refrigeradas se utilizaban para la entrega de estos productos sensibles a la temperatura), la compañía proporcionó la siguiente información acerca de sus operaciones de transporte por camión sobre una base semanal en el área de Washington, D.C.

Categoría de información	Datos	Costo semanal
Kilometraje semanal	2700 millas	
Horas semanales en servicio	66 h/sem.	
Viajes por semana	3 viajes/sem.	
Salarios de conductores	$12.00/h	$ 792.00
Prestaciones	18.75% del salario	148.50
Costo del combustible @ 10 mpg	$1.10/gal	297.00
Depreciación de camión	$316.50/sem.	316.50
Mantenimiento	$45.00/sem.	45.00
Seguro	$51.00/sem.	51.00
Peaje, alimentos y hospedaje	$97.50/viaje	292.50
Contingencias	$30.00/viaje	90.00
Total		$2,032.50

El costo del transporte se puede calcular como $2,032.50/2700 mi. = $0.75 por milla.

Es más difícil estimar la tarifa efectiva entre el origen y el destino porque el vehículo no viaja en una ruta directa entre los dos. En vez de ello, con frecuencia se hace más de una parada antes de regresar al depósito. Suponga que existen cinco paradas sobre una ruta típica y que la distancia promedio de conducción desde la salida hasta el regreso son 300 millas, tal como podría determinarse al promediar un número de patrones de ruta típicos (ver figura 14-3a). En este ejemplo, las distancias de conducción base forman un total de 200 millas y la distancia de conducción entre paradas forma un total de 100 millas. Si la tarifa promedio actual de transporte se toma como $1.30 por milla, el costo real total para las cinco paradas sería de $1.30/milla $\times$ 300 millas = $390.00. Ya que para propósitos de planeación regularmente estimamos la distancia a un cliente sólo en una dirección (ver figura 14-3b), la distancia efectiva será 100 + 100 + 150 + 110 + 100 = 560 millas. La tarifa efectiva por milla directa sería $390.00/560 = $0.696 por milla. Así pues, en la planeación calculamos la distancia en línea recta hacia un cliente y la multiplicamos por la tarifa efectiva de $0.696/milla para obtener el costo de transporte a ese cliente.

Transporte contratado

El proceso de estimar tarifas de transporte para el transporte contratado es significativamente distinto del proceso que se acaba de describir para el transporte controlado en forma privada. Una característica de las tarifas de categoría para camión y ferrocarril, y de las tarifas de UPS y FedEx así como de otros transportistas de envíos pequeños, es que las tarifas son razonablemente lineales con la distancia, característica que podemos usar con ventaja. Esto nos permite construir una tarifa de transporte estimando la curva basada en la distancia recorrida desde un punto de origen del envío, como la mostrada en la figura 14-4. Para un rango de distancias desde un área de entrega local de cerca de 30 a 50 millas desde el origen hasta el área aplicable de la tarifa, de 1,000 a 1,500 millas desde el origen, las tarifas por lo regular son bastante lineales con la distancia, y tienen por lo general un coeficiente de determinación de 90% o superior. Esto se ha observado para Estados Unidos así como para otros países.

Figura 14-3
Patrones de conducción reales contra equivalentes para vehículos operados en forma privada.

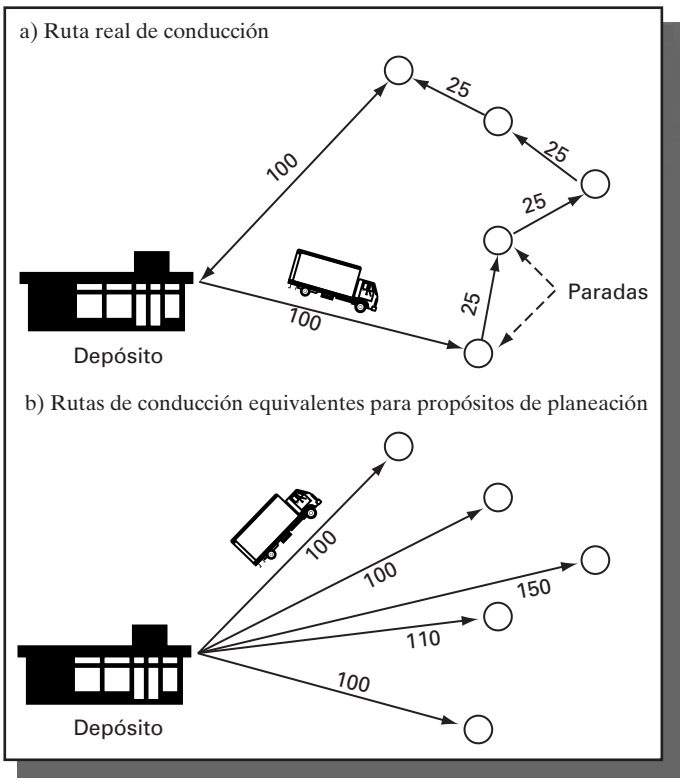
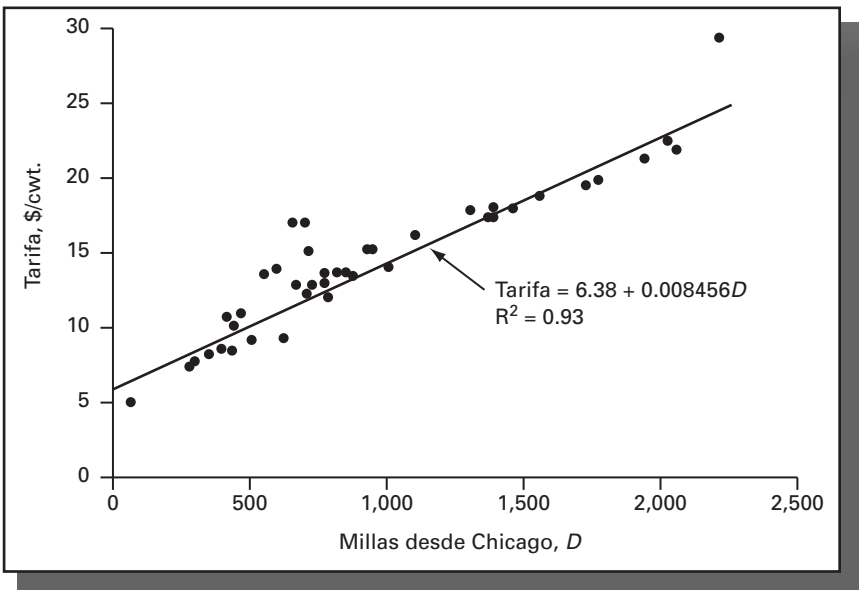


Figura 14-4
Curva de estimación de la tarifa de transporte para distancias seleccionadas desde Chicago.



El proceso para construir una curva de estimación de tarifa de transporte implica tomar muestras de tarifas a varias distancias radiando desde un punto de origen, digamos, Chicago. Un tamaño de muestra entre 30 y 50 puntos por lo general es adecuado. Las tarifas pueden encontrarse en tasas o en otras ecuaciones de tarifas. En el caso de la figura 14-4, las tarifas se tomaron de las de Roadway Express sin descuentos o cargos por otros servicios, como se encuentran en Internet.[9] Ya que las tarifas están cotizadas entre códigos postales, las distancias pueden encontrarse mediante una escala de un mapa o mediante distancias tabuladas en publicaciones como el atlas de caminos Rand McNally,[10] el atlas de caminos de Europa de Bartholomew,[11] o partir de servicios de mapas en Internet.[12] También están disponibles bases de datos comerciales en forma electrónica. Las distancias también pueden calcularse a partir de coordenadas geográficas, como se expuso antes en este capítulo.

Cuando una curva de estimación de tarifas de transporte no produce un grado satisfactorio de precisión, se pueden utilizar por completo tarifas específicas o de forma selectiva en conjunto con una curva de estimación de tarifa de transporte. Esto puede suceder cuando las tarifas están cotizadas sobre envíos individuales como para movimiento de alto volumen entre puntos específicos. Las tarifas de categoría de contrato, de mercancías genéricas o de descuento selectivo pueden no presentar una suficiente relación con la distancia como para formar una curva razonable de estimación de tarifa.

Perfiles de pedido y de envío

El diseño de redes puede ser muy sensible al tamaño del pedido y al tamaño de envío resultante. Por ejemplo, si todos los clientes tuvieran sus pedidos enviados en cantidades de carga de camión completo, existiría muy poco incentivo económico para el almacenamiento, fuera de contar con inventario cerca del cliente para cuestiones de servicio. Por otro lado, los pedidos muy pequeños de los clientes con frecuencia requieren un amplio almacenamiento de inventarios. Sin embargo, una empresa por lo regular tiene tantos clientes que les despacha en una variedad de pesos de pedidos. En la figura 14-5, la compañía química representada dividió su mercado en cuentas grandes y pequeñas. Las cuentas grandes eran manejadas en general por una fuerza directa de ventas, en tanto que las cuentas pequeñas eran manejadas por teléfono a través de un programa de telemarketing. Este histograma muestra el porcentaje de envíos para cada tipo de cuenta dentro de una celda estándar de intervalo de peso. La información para tales distribuciones por lo regular está disponible a partir de muestras de documentos de envío o de la base de datos de ventas.

El valor de contar con perfiles de envíos es generar estimados precisos de tarifas de transporte. Entre los mismos puntos de origen y de destino puede existir una tarifa sustancialmente diferente, dependiendo del peso del envío. Por esto es necesario desarrollar curvas de estimación de tarifas de transporte para cada intervalo estándar de peso. Luego, cada curva de tarifa puede ponderarse por el porcentaje correspondiente de envíos dentro del intervalo de peso. Una curva de tarifas de transporte resultante podrá entonces representar un amplio rango de tamaños de envío o una variedad de modalidades de transporte, en la medida que el perfil de envíos pueda representar distintas modalidades así como intervalos de pesos.

[9] www.Roadway.com
[10] *Rand McNally 2002 Road Atlas* (Skokie, IL: Rand McNally and Company, 2002).
[11] *Bartholomew Road Atlas Europe* (Edinburgh, Scotland: John Bartholomew & Son, Ltd., 1985).
[12] Por ejemplo, ver www.MapQuest.com o www.RandMcNally.com

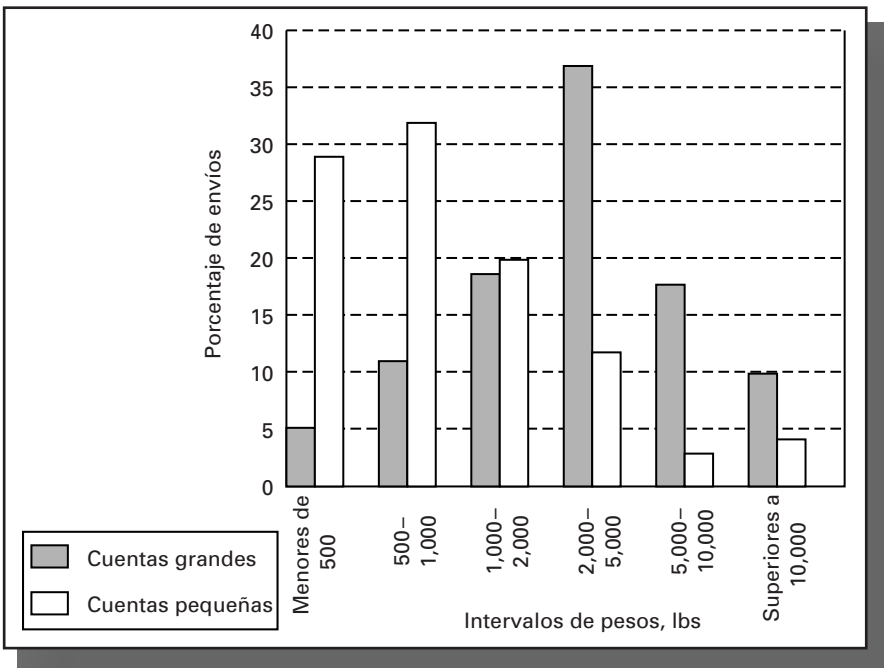


Figura 14-5 Perfil de envío para cuentas grandes y pequeñas de una compañía química.

Agrupación de ventas

Los clientes de los productos y servicios de toda empresa por lo general están dispersos a lo largo del país, aunque con frecuencia concentrados en áreas específicas, por lo general centros de población. Desde un punto de vista de planeación de red, no es necesario manejar a cada cliente en forma independiente. Las ventas del producto o del servicio que miles de clientes generan pueden agruparse en un número limitado de grupos geográficos sin pérdida significativa de precisión de la estimación de costos.

La agrupación de ventas puede afectar la precisión de la estimación de los costos de transportación a los clientes. Con la agrupación, los costos de transporte, en vez de ser calculados para cada ubicación del cliente se hacen para el centro del grupo. Se introduce cierto error con el uso del promedio en vez de la distancia real. Esta posible precisión puede minimizarse si se crea un número adecuado de grupos, y si estos grupos se mantienen pequeños alrededor de las concentraciones más grandes de ventas. Con base en una investigación que determine el error del costo de transportación al asumir que los envíos se realizan al centro de un grupo de clientes en vez de a cada uno de ellos, se puede determinar el número apropiado de grupos. La tabla 14-2 muestra varios tamaños de agrupaciones dependiendo del número de instalaciones dentro de una red y del error permitido en los costos de transporte.

Una vez que se conoce el número de agrupaciones, la información de los clientes se puede conjuntar en estos grupos. Dado que las ventas por lo general están dadas por la dirección del cliente, la cual incluye los códigos postales, es común agrupar por código

Error máximo permitido	Tamaño más grande de agrupación[a]	Número aproximado de puntos de origen en la red					
		1	5	10	25	50	100
0.5%	0.5%	200[c]	325	350	500	650	750
	0.8%	150	150	175	375	450	650
	2.0%	75	100	300	450	600	650
	5.0%	75	150	250	500	600	750
	Ilimitado[b]	50	350	400	500	700	750
1.0%	0.5%	200[c]	200[c]	200[c]	200[c]	250	500
	0.8%	200[c]	150	150	175	350	500
	2.0%	75	75	175	300	500	600
	5.0%	75	100	225	400	500	600
	Ilimitado[b]	25	200	250	400	500	600
2.0%	0.5%	200[c]	200[c]	200[c]	200[c]	200[c]	350
	0.8%	150	150	150	150	250	450
	2.0%	75	75	100	250	350	500
	5.0%	75	75	175	300	450	500
	Ilimitado[b]	25	75	175	300	450	500
5.0%	0.5%	200[c]	200[c]	200[c]	200[c]	200[c]	200[c]
	0.8%	150	150	150	150	150	300
	2.0%	75	75	75	100	225	300
	5.0%	75	75	75	175	275	350
	Ilimitado[b]	25	50	75	200	275	350
10.0%	0.5%	200[c]	200[c]	200[c]	200[c]	200[c]	200[c]
	0.8%	150	150	150	150	150	150
	2.0%	75	75	75	75	125	175
	5.0%	75	75	75	75	150	200
	Ilimitado[b]	25	50	75	100	175	225

[a] Tamaño más grande de agrupación entre todos los grupos como un porcentaje de la demanda total.
[b] El tamaño del grupo no está específicamente limitado, pero es aproximadamente el 7% de la demanda total.
[c] Matemáticamente el número mínimo de grupos.
Fuente: Ronald H. Ballou, "Measuring Transport Costing Error in Customer Aggregation for Facility Location", *Transportation Journal*, Vol. 33, Núm. 3 (1994), págs. 49-59.

Tabla 14-2 Número mínimo aceptable de grupos para el error máximo permitido en los costos de transporte y para distintos números de puntos de origen de la red y tamaños más grandes de grupos de clientes

postal. Al agrupar códigos postales según su proximidad entre sí se obtiene un bajo error del costo de transportación. Cada centro de una agrupación puede ser identificado utilizando un código geográfico, como longitud y latitud. En la tabla 14-3 se muestra un ejemplo de centros de agrupaciones, sus ubicaciones geográficas y los centros seccionales de códigos postales asociados con cada grupo. Pueden generarse tablas similares de agrupaciones para otras partes del mundo utilizando el código postal que pueda estar en efecto en esa región particular.

Núm	Longitud[a]	Latitud[a]	Nombre de la ciudad del centro del grupo	Código postal del centro[b]	Códigos postales representados[b]
1	73.25	42.45	Pittsfield, MA	012	012
2	71.81	42.27	Worcester, MA	016	015–016
3	71.08	42.31	Boston, MA	021	014, 017–024
4	71.43	41.82	Providence, RI	029	025–029
5	71.46	42.98	Manchester, NH	031	030–034
6	72.02	44.42	St. Johnsbury, VT	035	035, 058
7	70.97	43.31	Rochester, NH	038	038–039
8	70.28	43.67	Portland, ME	041	040–041, 045, 048
9	69.77	44.32	Augusta, ME	043	042–043, 049
10	68.75	44.82	Bangor, ME	044	044, 046
11	68.00	46.70	Presque Isle, ME	047	047
12	73.22	44.84	Burlington, VT	054	054, 056
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
180	117.05	32.62	San Diego, CA	921	920–921
181	119.00	35.56	Bakersfield, CA	933	932–934
182	119.78	36.76	Fresno, CA	937	936–937
183	122.21	37.78	Oakland, CA	946	939–954
184	124.07	40.87	Arcata, CA	955	955,960
185	121.46	38.55	Sacramento, CA	958	956–959
186	121.67	45.46	Portland, OR	972	970–974, 977, 986
187	121.75	42.22	Klamath Falls, OR	976	975–976
188	118.80	45.66	Pendleton, OR	978	978
189	122.33	47.63	Seattle, WA	981	980–985
190	120.47	46.60	Yakima, WA	989	988–989
191	117.41	47.67	Spokane, WA	992	835, 838, 990–992, 994
192	118.33	46.06	Walla Walla, WA	993	993

[a] Las coordenadas de longitud y latitud en grados decimales.
[b] Código postal del centro seccional.

Tabla 14-3 Listado parcial de un esquema de agrupación geográfica para Estados Unidos. Se utilizan 192 agrupaciones, centros seccionales de códigos postales de tres dígitos y coordenadas de latitud y longitud

Estimados de kilometraje

La naturaleza geográfica de buena parte de la labor de planeación de red requiere que los responsables de la logística obtengan distancias. Las distancias se requieren para estimar los costos de transporte entre los puntos de origen y destino, y con frecuencia son utilizados como sustituto del tiempo. Por ejemplo, se puede requerir que todos los clientes se ubiquen dentro de las 300 millas de distancia de un almacén, de manera que se pueda lograr un servicio de entrega de un día a esa distancia. Como se observó anteriormente, la

información de la distancia puede obtenerse en varias tablas comerciales y atlas de caminos en forma impresa o por computadora.[13] Para otras situaciones (p. ej., la planeación de rutas de camiones a través de calles urbanas), se puede desplegar un dispositivo portátil de medición, disponible en muchas tiendas de suministros para oficina, sobre un mapa para obtener las distancias precisas que un vehículo puede recorrer. Sin embargo, con frecuencia es más eficiente, pero no siempre tan preciso, simplemente calcular las distancias a partir de puntos de coordenadas.

Cuando se utiliza una cuadrícula simple lineal, como se mostró anteriormente en la figura 14-2, se pueden calcular distancias de línea recta a partir de las coordenadas por medio del teorema de Pitágoras. Es decir, si los puntos A y B tienen valores de coordenadas, la distancia en línea recta entre ellas puede determinarse por

$$D_{A-B} = K\sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2} \qquad \textbf{(14-1)}$$

donde

D_{A-B} = distancia entre los puntos A y B
X_A, Y_A = coordenadas del punto A
X_B, Y_B = coordenadas del punto B
K = factor de escala para convertir la medición de coordenadas a una medición de distancia

Ejemplo

Suponga que queremos estimar la distancia entre una planta en Madrid, España y el almacén en Milán, Italia, como se muestra en la figura 14-2. Madrid tiene las coordenadas, $X_A = 5$, $Y_A = 6$ y Milán tiene las coordenadas, $X_B = 11$, $Y_B = 7.5$. El factor de escala del mapa, o distancia entre números sucesivos de coordenadas, es 194 kilómetros. La distancia en línea recta calculada es

$$\begin{aligned} D_{A-B} &= 194\sqrt{(11-5)^2 + (7.5-6)^2} \\ &= 1200\,\text{km} \end{aligned}$$

La distancia de los caminos a partir de un atlas de caminos es 1,724 km. La distancia de caminos excede a la distancia calculada debido a los circuitos que debe recorrer un vehículo normalmente.

Si se desea que las distancias rectangulares se ajusten mejor con la distribución rectangular de los caminos, especialmente en las ciudades, se puede utilizar una fórmula de distancia generalizada:

$$D_{A-B} = b_0 + b_1[|X_A - X_B| + |Y_A - Y_B|] + b_2\sqrt{(X_A - X_B)^2 + (Y_A - Y_B)^2} \qquad \textbf{(14-2)}$$

donde b_0, b_1 y b_2 se obtienen al ajustar la ecuación a distancias activas y distancias en línea recta.[14]

[13] Muchos de los productos comerciales de cómputo para la determinación de kilometraje pueden encontrarse en la guía anual Accenture para el software de logística disponible a través del Council of Logistics Management, en www.CLM1.org

[14] Jack Brimley and Robert Love, "A New Distance Function for Modeling Travel Distances in a Transportation Network", *Transportation Science*, Vol. 26, Núm. 2 (1992), págs. 129–137.

Debido a las distorsiones ocasionadas por las diversas técnicas de mapeo para proyectar un globo sobre un plano, la técnica de la cuadrícula simple sobrepuesta puede generar errores computacionales que varían, dependiendo del método de proyección del mapa y del lugar donde se calculan las distancias sobre el mapa. Una técnica más confiable es utilizar coordenadas de latitud-longitud y la fórmula de la distancia del círculo mayor (trigonometría esférica). No sólo la fórmula evita distorsiones de mapeo, sino que también considera la curvatura de la tierra. La fórmula del círculo mayor es

$$D_{A-B} = 3959\{\arccos[\text{sen}\,(\text{LAT}_A) \times \text{sen}\,(\text{LAT}_B) + \cos\,(\text{LAT}_A) \times \cos\,(\text{LAT}_B) \times \cos\,|\text{LONG}_B - \text{LONG}_A|]\} \quad \textbf{(14-3)}$$

donde

D_{A-B} = distancia de círculo mayor entre los puntos *A* y *B* (millas de ley)
LAT_A = latitud del punto *A* (radianes)[15]
LONG_A = longitud del punto *A* (radianes)
LAT_B = latitud del punto *B* (radianes)
LONG_B = longitud del punto *B* (radianes)

Aunque esta fórmula parezca un tanto intimidante, puede fácilmente programarse por computadora[16] y sus ventajas pueden exceder a sus desventajas. Algunas de estas ventajas son:

- Las coordenadas de latitud y longitud se pueden utilizar alrededor del mundo.
- Las coordenadas están disponibles a partir de una variedad de fuentes, incluyendo mapas de caminos, mapas de navegación, enciclopedias, publicaciones del gobierno y servicios comerciales.
- El sistema de coordenadas por lo general es comprendido.
- Se logra una buena precisión.

Por esto, el método del círculo mayor para el cálculo de distancia con frecuencia es el método preferido en los programas de computadora para planeación logística. Sin embargo, para conservar la precisión computacional, los dos puntos en la fórmula deberán encontrarse dentro del mismo hemisferio.

---

[15] Los radianes se calculan a partir de los grados dividiéndolos entre 57.3, es decir, $180/\pi$.

[16] Un breve programa en el lenguaje de programación BASIC para calcular la distancia de círculo mayor a partir de coordenadas en grados sería

```
100  C = 57.3
110  A = SIN(LATA/C) * SIN(LATB/C) + COS(LATA/C) * COS(LATB/C)
          * COS(ABS(LONGB – LONGA)/C)
120  D = 3959 * ATN(SQR(1 – A^2)/A)
```

donde

D = distancia en millas imagen desde el primero al segundo punto
C = constante para convertir grados a radianes
LAT*A* = latitud del primer punto en grados
LONG*A* = longitud del primer punto en grados
LAT*B* = latitud del segundo punto en grados
LONG*B* = longitud del segundo punto en grados

Ejemplo

Continúe el ejemplo anterior al calcular la distancia en línea recta desde Madrid hasta Milán, pero utilice la fórmula de distancia del círculo mayor. Las coordenadas de Madrid son $LONG_A$ = 3.41°W, LAT_A = 40.24°N y para Milán las coordenadas son $LONG_B$ = 9.12°E, LAT_B = 45.28°N. Al dividir cada una de estas coordenadas entre 57.3 se convierten a radianes. Por lo tanto, $LONG_A$ = 0.0595, LAT_A = 0.7023, $LONG_B$ = –0.1592, LAT_B = 0.7902. Observe que $LONG_B$ es negativa ya que se encuentra al este del meridiano de Greenwich y que $LONG_A$ es positiva al encontrarse al oeste de ese meridiano. Al colocar esa información en la ecuación (14-3), tenemos

$$\begin{aligned} D_{A-B} &= 3959\{\arccos[\operatorname{sen}(0.7023) \times \operatorname{sen}(0.7902) \\ &\quad + \cos(0.7023) \times \cos(0.7902) \times \cos|-0.1592 - 0.0595|]\} \\ &= 724 \text{ millas} \end{aligned}$$

Como son 1.61 kilómetros por milla, $D_{A\text{-}B}$ = 724 × 1.61 = 1,166 kilómetros. (*Observe:* los valores de arccos, sen y cos se obtienen en tablas trigonométricas.)

Las distancias calculadas siempre subestimarán la distancia real entre dos puntos. Los vehículos no viajan en línea recta. En vez de ello, se desplazan a través de una red de caminos, vías férreas o rutas de navegación, balanceando la distancia con el tiempo para recorrer la red. Debido a esto, las distancias calculadas se ajustan utilizando un factor de circuito, o multiplicador. Cuando la cuadrícula es de un tipo simple y lineal, y se utiliza la ecuación (14-1), el factor de circuito es aproximadamente 1.21 para caminos y 1.24 para vías férreas en redes bien desarrolladas. Al utilizar coordenadas de latitud-longitud en la fórmula del círculo mayor para calcular la distancia [ecuación (14-3)], los factores de circuito para distintas regiones del mundo, como se proporcionan en la tabla 14-4, serán valores adecuados para comenzar. Un factor de circuito preciso para cualquier región particular podrá determinarse simplemente al tomar una muestra de las distancias entre los puntos seleccionados y promediando la razón de las distancias reales a las calculadas.

Además de los estimados de kilometraje, en ocasiones se necesitan los estimados de tiempo para reflejar el servicio al cliente dentro de la red. Una práctica común es estimar primero las distancias y luego convertirlas a estimados de tiempo, dividiendo la distancia entre la velocidad recorrida. Sin embargo, se han realizado algunas investigaciones para estimar los tiempos de tránsito para redes internas y externas a las ciudades. Camp y DeHayes desarrollaron ecuaciones de regresión para estimar los tiempos de tránsito dentro de ciudades utilizando un sistema de cuadrícula.[17] Ratliff y Zhang estimaron la velocidad y el tiempo para regiones del tamaño de ciudades.[18]

Costos de las instalaciones

Los costos relacionados con una instalación, por ejemplo un almacén, se pueden representar en términos de: 1) costos fijos; 2) costos de almacenamiento, y 3) costos de manejo. Los costos fijos son aquellos que no cambian con el nivel de actividad de la instalación. Los impuestos sobre bienes, renta, supervisión y depreciación son ejemplos de costos fijos. Sin

[17] Robert Camp y Daniel DeHayes, "A Computer-based Method for Predicting Transit Time Parameters Using Grid Systems", *Decision Sciences*, Vol. 5 (1974), págs. 339–346.
[18] H. Donald Ratliff and Xinglong Zhang, "Estimating Traveling Time/Speed", *Journal of Business Logistics*, Vol. 20, Núm. 2 (1999), págs. 121–139.

País	Número de puntos	Factor promedio de circuito	Desviación estándar
Argentina	66	1.22	0.15
Australia	77	1.28	0.17
Bielorusia	21	1.12	0.05
Brasil	120	1.23	0.11
Canadá	49	1.30	0.10
China	66	1.33	0.34
Egipto	21	2.10	1.96
Europa	199	1.46	0.58
Inglaterra	37	1.40	0.66
Francia	9	1.65	0.46
Alemania	31	1.32	0.95
Italia	11	1.18	0.10
España	61	1.58	0.80
Hungría	36	1.35	0.25
India	105	1.31	0.21
Indonesia	16	1.43	0.34
Japón	36	1.41	0.15
México	49	1.46	0.43
Nueva Zelanda	4	2.05	1.63
Polonia	45	1.21	0.09
Rusia	78	1.37	0.26
Arabia Saudita	21	1.34	0.19
Sudáfrica	91	1.23	0.12
Tailandia	28	1.42	0.44
Turquía	28	1.36	0.34
Ucrania	36	1.29	0.12
Estados Unidos[a]	299	1.20	0.17
Alaska	55	1.79	0.87
Este de Estados Unidos[b]	143	1.20	0.16
Oeste de Estados Unidos[c]	156	1.21	0.17

[a] Excluyendo Alaska y Hawai.
[b] Al este del río Mississippi.
[c] Al oeste del río Mississippi.
Fuente: Ronald H. Ballou, Handoko Rahardja y Noriaki Sakai, "Selected Country Circuity Factors for Road Travel Distance Estimation", *Transportation Research,* Parte A, Vol. 36 (2002), págs. 843-848.

Tabla 14-4 Factores de circuito para países seleccionados (y áreas en Estados Unidos)

embargo, debemos reconocer que todos los costos son variables a cierto nivel de actividad. Se debe ser cuidadoso respecto de si es probable que un costo cambie durante un rango razonable de actividad que pueda aplicarse a una instalación, al clasificar el costo como fijo.

Los costos de almacenamiento son aquellos que varían con la cantidad de inventario almacenado dentro de la instalación. Es decir, si un costo particular se incrementa o disminuye con el nivel de inventario mantenido en la instalación, entonces el costo será clasificado como un costo de almacenamiento. Aquí, los costos típicos son los de servicios públicos, impuestos sobre bienes inmuebles, capital inmovilizado en inventario, y el seguro sobre el valor del inventario.

Los costos de manejo varían con la actividad de la instalación. Los ejemplos típicos son los costos de mano de obra para almacenar y recuperar artículos, algunos costos de servicios públicos y los costos de equipo variable de manejo.

Los costos de almacenamiento privado o arrendado se rastrean a través del sistema contable de la empresa. Periódicamente se emiten datos en forma de lista de cuentas, proporcionando costos y sus descripciones asociadas. Se deberá utilizar el criterio personal para clasificar esta información como costos anualizados fijos, de almacenamiento o de manejo útiles para la planeación de la red.

Ejemplo

Una importante compañía petrolera almacena llantas, baterías y accesorios que se venden a través de los establecimientos comerciales de gasolina. En la tabla 14-5 se muestra un informe contable de los gastos asociados con la operación del almacén para un año. Este autor ha dado su opinión acerca de la forma como los gastos pueden asignarse a las categorías de costos fijos, de almacenamiento y de manejo según se necesiten para la planeación de red. Observe si usted los asignaría en forma diferente.

Cuando participan almacenes públicos, las tarifas de almacenamiento y manejo se obtienen fácilmente. El servicio es por contrato y en general puede adquirirse en proporción directa con la cantidad necesaria. Las tarifas de almacenamiento ($/cwt./mes) y de manejo ($/cwt.) aparecen en el contrato del almacén público. No aplica ningún costo fijo, ya que este es un servicio por contrato. Sin embargo, pueden existir descuentos ofrecidos por el proveedor con base en la longitud del contrato y del volumen proyectado.

Los costos de las plantas y proveedores se obtienen fácilmente. Los costos variables para la producción de la planta por producto se obtienen en general a partir de los costos estándar contables de producción. Para bienes adquiridos, los costos de proveedor serán los precios cotizados al comprador.

Capacidades de las instalaciones

Las estrictas limitaciones de capacidad sobre plantas, almacenes y proveedores pueden tener un impacto sustancial sobre la configuración de la red. No obstante las capacidades, en la práctica no son valores absolutos rígidos. Aunque pueda existir una actividad más eficiente a la que opere la instalación, trabajando tiempo extra, turnos adicionales, almacenando producto en los pasillos y adquiriendo equipo o espacio adicional sobre una base temporal son sólo algunas de las formas en que puede ampliarse la capacidad. Aunque todo esto causa un mayor costo, se debe tener cuidado siempre de no considerar las capacidades como una restricción demasiado rígida.

Descripción contable	Gasto total	Costo fijo anual	Costo de almacenamiento	Costo de manejo
Sueldos y salarios[a]	$347,440	$36,500	$	$310,940
Pago de horas extra	40,351			40,351
Trabajadores temporales de tiempo parcial	23,551			23,551
Gravamen sobre nómina	27,747	2,915		24,832
Pago de desempleo	4,437	466		3,971
Gastos de viaje	5,716	5,716		
Alimentos por tiempo extra	844			844
Gastos del plan de prestaciones	19,619	2,061		17,558
Seguro de grupo	14,860	1,561		13,299
Gastos de conserje-material	5,481	5,481		
Retiro de basura y nieve	2,521	2,521		
Mantenimiento de edificios y terrenos	19,780	19,780		
Protección contra incendios	2,032	2,032		
Mantenimiento de jardines	3,855	3,855		
Pavimentación[b]	15,621	15,621		
Mercancía invendible	4,995		4,995	
Seguridad	583	583		
Suministros y formatos de oficina	38,697			38,697
Gastos de correo	518			518
Suministros generales de almacén	64,338			64,338
Electricidad	39,332	39,332		
Calefacción	28,974	28,974		
Teléfono	8,750	8,750		
Libros, suscripciones	1,017	1,017		
Gastos y derechos de membresías	3,993	3,993		
Impuestos: bienes inmuebles	43,570	43,570		
Impuestos sobre bienes inmuebles	35,354		35,354	
Gastos de camiones	12,961			12,961
Gastos de equipo de manejo de materiales	29,042			29,042
Totales		$224,728	$40,349	$580,902

[a] Incluye al gerente del almacén.
[b] Amortizado durante 10 años.

Tabla 14-5 Gastos anuales de almacenamiento asignados a categorías de costos fijos, de almacenamiento y de manejo

Relaciones de rendimiento de inventario

Cuando la planeación implica la ubicación de almacenes, por lo general se requiere estimar la forma como serán afectados los niveles de inventario a través de la red a medida que cambie el número, ubicación y tamaño del almacén. Recuerde, del capítulo 9 sobre inventarios, que existen dos fuerzas que actúan sobre los niveles de inventario: el inventario regular y el inventario de seguridad. A medida que el número de instalaciones se reduce dentro de una red, los niveles de inventario por lo general declinarán. Recuerde que la ley de raíz cuadrada predice la reducción en el inventario regular; pero no es capaz de

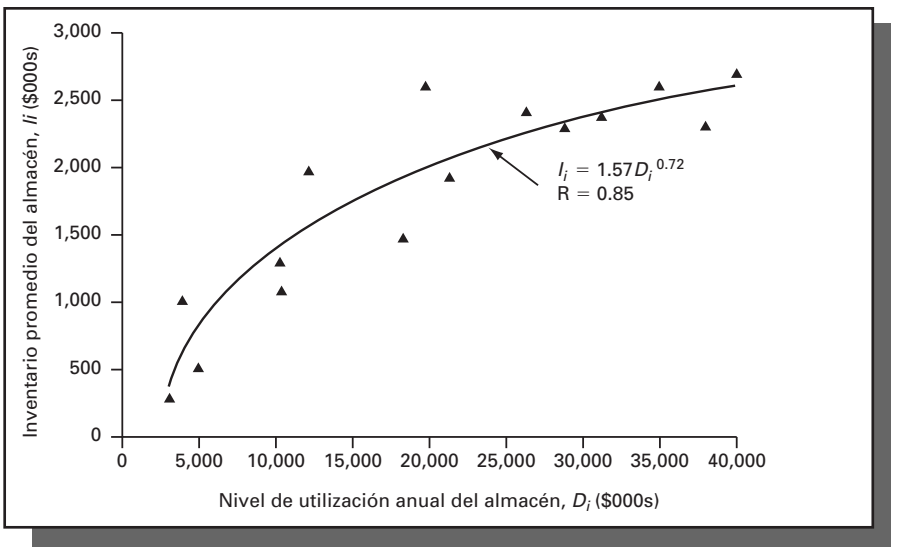
estimar los efectos del inventario de seguridad. Utilizando el nivel de actividad del inventario podremos estimar ambos efectos.

Ya que el problema de la ubicación es el de la asignación de la demanda entre los almacenes, quisiéramos ser capaces de proyectar la cantidad de inventario dentro de un almacén a partir de la demanda o del nivel de actividad asignado a él. Una forma de encontrar la relación inventario-nivel de actividad es generarla a partir de la propia política de inventarios de la compañía. Es decir, el objetivo puede ser un índice de rotación de inventario de ocho vueltas por año. Ya que el índice de rotación son las ventas anuales al inventario promedio, la relación queda definida. Sin embargo, esto es una expresión de lo que la dirección de la empresa pretende, mas no lo que realmente sucede. Simplemente puede ser la mejor relación que tenemos si no existe otra información disponible.

Quizás una mejor forma de encontrar la relación de inventario-nivel de utilización es observar la forma como la dirección de la empresa controla los inventarios. Un informe común para la mayoría de las empresas es el del estado del inventario que mensualmente proporciona los niveles de inventario y los envíos para cada almacén en la red. Al promediar los niveles de inventario para cada almacén y sumando los envíos, se puede obtener un punto de información sobre una gráfica, como se muestra en la figura 14-6. Al graficar información similar para todos los almacenes y ubicaciones de plantas que actúan como almacenes atendiendo sus territorios locales se completa el perfil de información. Luego ajustamos la ecuación matemática más adecuada que pueda encontrarse a la información. A partir de esta ecuación, conociendo la demanda anual asignada a un almacén existente o nuevo, podemos estimar, en promedio, la cantidad de inventario que debe encontrarse en un almacén particular.

Cuando: 1) existen unos cuantos almacenes en la red actual a partir de los cuales generar un perfil de información razonable; 2) la ejecución de la política de inventario es tan variada entre almacenes que no se puede establecer con precisión una relación acumulada, o 3) se modificará la política de inventarios, entonces puede ser necesario estimar el

Figura 14-6 Curva de utilización de inventario para un fabricante de compuestos para limpieza industrial.



nivel de inventario promedio a partir de las políticas de inventario para artículos de productos individuales. Esto se puede lograr al simular la acción de la demanda sobre artículos individuales dentro de un almacén y sumando los resultados en un nivel de inventario acumulado para todos los artículos. La forma como una compañía controla cada uno de los artículos se refleja en los niveles de inventario total. Al dividir la demanda entre diversos números de posibles almacenes, se puede generar información simulada como se muestra en la figura 14-6.[19]

Estimación de la demanda futura

No tiene mucho sentido planear la red con base en información de la demanda pasada o presente cuando es probable que los resultados de la planeación no se pongan en práctica de manera inmediata. Por esto, buscamos alguna fecha futura para propósitos de diseño. Para este caso serían útiles los métodos de pronóstico para mediano y largo plazo. Como una alternativa, muchas empresas generan un pronóstico a cinco años para propósitos de planeación general. Esta también puede ser información importante para la planeación de la red.

Otros factores y restricciones

Después que se han reunido los datos económicos básicos seguirá necesitándose información acerca de las distintas restricciones que pueden afectar el diseño de la red. Bender las describe de la siguiente forma:

- Limitaciones financieras, como una inversión máxima permitida para nuevas instalaciones
- Restricciones legales y políticas que determinan, por ejemplo, la necesidad de evitar ciertas áreas al evaluar posibles sitios
- Limitaciones del personal, como la cantidad y calidad del personal disponible para apoyar las nuevas estrategias
- Plazos límite por cumplir
- Instalaciones que deben mantenerse operando
- Condiciones contractuales, tanto actuales como anticipadas[20]

Falta de información

Uno de los problemas más desconcertantes en la planeación de la red es no contar con toda la información necesaria para llevar a cabo el análisis. Esto ocurre con frecuencia cuando el análisis implica instalaciones que no son operadas actualmente por la compañía. Para estas instalaciones no se cuenta con costos definitivos concernientes a su operación. Éstos tienen que ser estimados o adquiridos en forma externa. Un método de estimación es tomar información actual, ya sea de instalaciones que operan actualmente en la misma proximidad de la instalación potencial o de instalaciones que tengan las mismas características generales. Pueden duplicarse las curvas de tarifas de transporte para nuevas ubicaciones

[19] Para un análisis profundo del desarrollo de la relación acumulada de rendimiento de inventario, vea Ronald H. Ballou "Estimating and Auditing Aggregate Inventory Levels at Multiple Stocking Points", *Journal of Operations Management*, Vol. 1, Núm. 3 (1981), págs. 143-153; y Ronald H. Ballou, "Evaluating Inventory Management Performance Using a Turnover Curve", *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management,* Vol. 30, Núm. 1 (2000), págs. 72-85.

[20] Paul S. Bender, "Logistics System Design", en: James F. Robeson y Robert G. House (eds.), *The Distribution Handbook* (Nueva York: Free Press, 1985), pág. 173.

o pueden obtenerse nuevas muestras de las proximidades de estos nuevos puntos de origen. Los estimados de los niveles de inventario promedio se toman a partir de la curva promedio de inventario-nivel de actividad.

La información no disponible dentro de la compañía en ocasiones puede encontrarse fuera de ella. Los datos económicos, como tarifas de mano de obra, monto de la renta, impuestos y costos de construcción pueden encontrarse a partir de estudios de actividad regional realizados periódicamente por el Departamento del Trabajo de Estados Unidos. Las distintas cámaras de comercio realizan estudios económicos locales que proporcionan información útil para desarrollar los costos de almacenamiento. Roadway Pilot, Yellow Freight y otras compañías de transporte terrestre ofrecen discos gratis, o acceso por Internet a ellos, de sus tarifas de transporte entre cientos de puntos de origen y destino dentro de ciudades alrededor de Estados Unidos. Varios proveedores ofrecen tarifas de transporte a la venta, como la SMC^3 Corporation.[21] Encargados de almacenes públicos cotizarán las tarifas. Aunque la información de estas fuentes no representa una "negociación dura" por parte de la empresa, proporciona formas de contar con ciertos datos faltantes.

Las herramientas para el análisis

Cuando se ha desarrollado la información apropiada para la planeación de red, podrá iniciarse el análisis para localizar el mejor diseño. Para este tipo de problema, el proceso de buscar los mejores diseños es complejo y por lo general se apoya en el uso de modelaciones matemáticas o computacionales. Considere algunas de estas opciones.

Opciones de modelación

Aunque existen numerosos modelos individuales que pueden ser utilizados para el análisis, éstos pueden clasificarse en sólo unas cuantas categorías, denominadas: 1) técnicas de gráfica, compás y regla; 2) modelos de simulación; 3) modelos heurísticos; 4) modelos de optimización, y 5) modelos de sistemas expertos. Algunos de estos modelos se analizaron en el capítulo 13.

Técnicas de gráfica, compás y regla

Este es un nombre general que se refiere a una amplia variedad de técnicas intuitivas apoyadas por un nivel relativamente bajo de análisis matemático. Sin embargo, los resultados no necesariamente son de baja calidad. El buen juicio, experiencia y un buen entendimiento del diseño de red permiten que un individuo genere diseños satisfactorios. Pueden tomarse en cuenta factores subjetivos, excepciones, costos y restricciones, muchos de los cuales no pueden representarse mediante el modelo matemático más elaborado. Esto enriquece el análisis y con seguridad puede hacer que los diseños se lleven a cabo en forma directa.

Los métodos utilizados para apoyar este tipo de análisis pueden parecer rudimentarios en el mundo computarizado actual. Las gráficas estadísticas, las técnicas de mapeo y las comparaciones de hojas de cálculo son sólo algunas de las técnicas que pueden utilizarse.

Aplicación

Cuando los trabajadores amenazaron con sindicalizarse en una planta fabricante de frenos, su propietario buscó desplazar las operaciones a otra ubicación. La planta se locali-

[21] Véase www.SMC3.com

zaba en un estado del Medio Oeste, donde los sindicatos de trabajadores son tradicionalmente fuertes. El propietario de la planta quería que la nueva ubicación se encontrara en un estado más adecuado para trabajar. Dado el número limitado de ubicaciones que implicaba esta restricción para una nueva instalación independiente, cada ubicación se analizaba fácilmente con base de costos con el uso de una calculadora manual. Una vez que se identificaba la región general de la ubicación, se seleccionaba el sitio final al comparar muchos factores subjetivos, como la calidad de la educación local, las actitudes comunitarias hacia la operación, y la disponibilidad de transporte y servicios públicos. También se consideraban los costos específicos asociados con el sitio, como impuestos locales y a la propiedad, las tarifas de los servicios públicos y las rentas.

Modelos de simulación

Los modelos de simulación están representados por dos tipos: 1) simulación determinista y 2) simulación estocástica o Monte Carlo. Los simuladores deterministas son esencialmente calculadores del costo, donde se entregan los valores de las variables estructurales (p.ej., flujos del producto dentro de una red) al modelo, y a su vez calcula los costos, estadísticas de servicio y otra información relevante. Por otro lado, los simuladores estocásticos intentan emular eventos reales (p. ej., patrones de pedidos, tiempos de entrega del transporte y niveles de inventario en el tiempo dentro de un canal de distribución) utilizando distribuciones de probabilidad para representar la incertidumbre en el tiempo de los eventos y el nivel de las variables del evento. Las simulaciones deterministas se utilizan típicamente para evaluar el diseño de la red actual de una compañía de modo que pueda establecerse un "caso base" contra el cual puedan compararse los diseños optimizados de red. Los simuladores estocásticos se utilizan para mostrar los resultados de desempeño de los métodos de control de inventario, de selección de servicio de transporte, de políticas de servicio al cliente, etcétera. Los simuladores estocásticos manejan efectivamente la dimensión de *tiempo* de la planeación de la cadena de suministros, en tanto que los simuladores deterministas se utilizan en conjunto con el diseño espacial de redes.

La simulación de la red por lo general implica replicar las estructuras de costos, restricciones y otros factores que representan la red de manera razonable. Esta replicación por lo general se realiza mediante relaciones matemáticas, las cuales con frecuencia son de naturaleza estocástica. Además, el procedimiento de simulación por lo regular es

> . . . nada más ni nada menos que la técnica para realizar experimentos de muestreo sobre el modelo del sistema.[22]

Es decir, se presenta una configuración de red particular al modelo de simulación que luego proporcione los costos y otra información relevante para la operación del diseño del sistema. Al repetir el experimento muchas veces sobre el mismo diseño y con distintos diseños se generan estadísticas que son útiles para realizar comparaciones entre las opciones de diseño. Debido a la complejidad de las relaciones del modelo y a la cantidad de información manejada en las simulaciones, por lo general se realizan en una computadora. La manipulación de la simulación en vez del sistema real se realiza por conveniencia.

[22] Frederick S. Hillier y Gerald J. Lieberman, *Introduction to Operations Research,* 3a. ed. (San Francisco: Holden-Day, 1980), pág. 643.

Las simulaciones se han utilizado para tratar prácticamente con todo problema de planeación en logística. Hace algunos años, Shycon utilizó una simulación (determinista) para ayudar a ubicar almacenes.[23] Andersen Consulting (ahora Accenture) ha utilizado la técnica (de simulación estocástica) para analizar el flujo del producto a través de múltiples niveles de ubicación de instalaciones con el propósito de responder preguntas relacionadas con los niveles de inventario, nivel de producción y tiempos de los flujos dentro del canal de suministros y distribución.[24] Power y Cross investigaron los efectos de los incentivos comerciales sobre el desempeño logístico utilizando la simulación.[25] Existen muchos otros ejemplos.

En su mayor parte, las simulaciones son hechas a la medida del problema particular que se analiza. Aunque existen algunos simuladores que de manera específica manejan problemas logísticos, como LREPS,[26] PIPELINEMANAGER,[27] LSD[28] y LOCATE,[29] pueden crearse muchos otros simuladores con la ayuda de lenguajes de simulación general. Estos incluyen SIMSCRIPT, GPSS, SIMULA, DYNAMO, SIMFACTORY y SLAM. Varios de estos lenguajes ahora incluyen una característica gráfica en la que es posible animar en tiempo simulado la acción de los flujos de productos y niveles de inventario en una pantalla de video para una interpretación más fácil de los resultados.

La simulación estocástica es el método de elección cuando es esencial un detalle sustancial en una descripción compleja del problema, cuando existen elementos estocásticos dentro del problema y cuando no es crítico encontrar la solución óptima matemáticamente. Los profesionales sitúan a la simulación como la técnica cuantitativa más frecuentemente utilizada en segundo lugar, sólo después de la estadística.[30]

Se encuentra disponible un simulador estocástico llamado SCSIM como parte del paquete de LOGWARE, el cual replica una cadena de suministros de múltiples niveles y permite la prueba de varios métodos de pronóstico, políticas de inventarios, precio, tiempos de la transportación para la entrega, tamaños y tiempo de procesamiento de lotes de producción, tiempos de procesamiento de pedidos y ritmos de atención de pedidos. Los resultados incluyen ingresos proyectados, diversos costos logísticos y de producción por nivel, estadísticas de servicio al cliente, niveles de inventario, órdenes atrasadas y ritmos de atención. Se verá más acerca de este simulador posteriormente en este capítulo.

Modelos heurísticos

Los modelos heurísticos son un tipo de mezcla entre el realismo en la definición de un modelo que puede obtenerse mediante los modelos de simulación, y la búsqueda de las solucio-

[23] H. N. Shycon, R. B. Maffei, "Simulation-Tool for Better Distribution", *Harvard Business Review,* Vol. 38 (noviembre-diciembre de 1960), págs. 65-75.
[24] PIPELINEMANAGER™, paquete registrado de software de simulación por computadora de Accenture, Chicago, Illinois.
[25] Thomas L. Powers y David J. Closs, "An Examination of the Effects of Trade Incentives on Logistical Performance in a Consumer Products Distribution Channel", *Journal of Business Logistics*, Vol. 8, Núm. 2 (1987), págs. 1-28.
[26] Donald J. Bowersox, O. K. Helferich, P. Gilmour, F. W. Morgan, Jr., E. J. Marien, G. L. Lawrence y R. T. Rogers, *Dynamic Simulation of Physical Distribution Systems* (East Lansing, MI: Division of Research, Graduate School of Business Administration, Michigan State University, 1972).
[27] Un simulador de flujos de productos del canal logístico desarrollado por Andersen Consulting, división de Arthur Andersen and Company.
[28] David Ronen, "LSD–Logistics System Design Simulation Model", *Proceedings of the Eighteenth Annual Transportation and Logistics Educators Conference* (Boston: 9 de octubre de 1988), págs. 35-47.
[29] Simulador de ubicación de instalaciones desarrollado por CSC Consulting.
[30] John L. Harpell, Michael S. Lane y Ali H. Mansour, "Operations Research in Practice: A Longitudinal Study", *Interfaces*, Vol. 19, Núm. 3 (mayo-junio de 1989), págs. 65-74.

nes óptimas obtenidas por los modelos de optimización. Generalmente alcanzan una amplia definición del problema, pero no garantizan soluciones óptimas para el mismo. Los modelos se construyen alrededor del concepto de heurística que Hinkle y Kuehn definen como

> Un proceso abreviado de razonamiento… que busca una solución satisfactoria en vez de una óptima. La heurística, que reduce el tiempo invertido en la búsqueda de la solución de un problema, incluye una regla o un procedimiento computacional, que restringe el número de alternativas de solución a un problema con base en el proceso análogo humano de prueba y error para alcanzar soluciones aceptables a los problemas para los cuales no se encuentran disponibles algoritmos de optimización.[31]

La modelación heurística es un método práctico para algunos de los problemas logísticos más difíciles. La heurística es útil cuando se desea que el modelo busque una mejor solución, pero se comprometerían demasiadas cosas si se intentara resolver el problema por métodos de optimización. Con frecuencia utilizamos la heurística en la planeación, donde ésta puede presentarse como principios o conceptos. Ejemplos de reglas heurísticas podrían ser

- Los sitios más probables para almacenes son aquellos que se encuentran en los centros de mayor demanda o alrededor de ellos.
- Los clientes que deben ser abastecidos directamente desde los puntos de origen y no a través de un sistema de almacenes son aquellos que pueden adquirir en cantidades de cargas completas de vehículos.
- Un producto debe almacenarse si el diferencial de los costos de transportación entre el desplazamiento de entrada y el de salida justifica el costo de almacenamiento.
- Los artículos dentro de una línea de productos que son mejor manejados por procedimientos justo a tiempo, en vez de por medio de control estadístico de inventarios, son aquellos que muestran la menor variabilidad en su demanda y en sus patrones de tiempos de espera.
- El siguiente almacén para agregarse a un sistema de distribución es el que muestre los mayores ahorros de costos.
- Los clientes más costosos desde un punto de vista de distribución son aquellos que compran en pequeñas cantidades y que están ubicados al final de las vías de transportación.
- Las cargas de transportación económicas se construyen al consolidar cargas de volumen pequeño en cargas de vehículo completo, comenzando con los clientes más remotos sobre la red de distribución y combinando las cargas a lo largo de una línea hacia el punto de origen de la transportación.[32]

Reglas como las de la lista anterior pueden ser programadas en un modelo, a menudo un programa de software de computadora, en busca de la solución lógica de estas reglas.

Modelos de optimización

Los modelos de optimización se fundamentan en procedimientos matemáticos precisos para evaluar alternativas y garantizan que se habrá encontrado la solución óptima (la me-

[31] Charles L. Hinkle y Alfred A. Kuehn, "Heuristics Models: Mapping the Maze for Management", *California Management Review*, Vol. 10 (otoño de 1967), pág. 61.
[32] Ronald H. Ballou, "Heuristics: Rules of Thumb for Logistics Decision Making", *Journal of Business Logistics*, Vol. 10, Núm. 1 (1989), págs. 122-132.

jor alternativa) al problema según se propuso en forma matemática. Es decir, se puede demostrar matemáticamente que la solución generada es la mejor. Muchos de los modelos deterministas de la investigación de operaciones o de la ciencia administrativa son de este tipo. Éstos incluyen programación matemática (programación lineal, no lineal, dinámica o entera); de enumeración; modelos de secuenciación; distintos modelos dominados por cálculo; y modelos de reemplazo de equipo. Se han generalizado muchos modelos de optimización y están disponibles como paquetes de computadora.

¿Cuándo deben utilizarse modelos de optimización? De acuerdo con Power, "…dondequiera y cuando sea posible".[33] Él continúa para observar varias ventajas del método de optimización:

- Se garantiza que el usuario tendrá la mejor solución posible para un conjunto dado de supuestos e información.
- Muchas estructuras complejas de modelo ahora pueden manejarse en forma correcta.
- Se realiza un análisis más eficiente, ya que todas las alternativas se generan y se evalúan.
- Se pueden efectuar comparaciones una y otra vez, ya que se garantiza la mejor solución para cada una.
- Los ahorros de costos o utilidades entre una solución óptima y una generada en forma heurística pueden ser importantes.[34]

Aunque estas son ventajas impresionantes, los modelos de optimización también tienen sus desventajas. La principal desventaja es que, a medida que se incremente la complejidad del problema, no se podrá obtener una solución óptima dentro de un tiempo computacional razonable y con las capacidades de memoria de incluso las computadoras más grandes. Con frecuencia, el realismo de la descripción del problema debe considerarse en un balance contra el tiempo de solución. Incluso así, se debería utilizar un modelo de optimización limitado dentro de un modelo heurístico, donde la optimización resuelva parte del problema. Por otro lado, los modelos de optimización que involucran programación matemática (un tipo importante en la planeación de redes) con frecuencia incluyen heurística para guiar el proceso de solución y para limitar el tiempo de solución, ya que no pueden garantizar que se encontrará la solución sin enumerar todas las posibles alternativas con el inaceptable tiempo de ejecución.

Ejemplo

El modelo de cantidad económica de pedido (CEP) que se utiliza para el control de inventarios es un buen ejemplo de modelo de optimización. Es un modelo basado en cálculo que es muy popular en aplicaciones prácticas. Aunque tiene alcance limitado, captura la esencia de muchos problemas de control de inventarios y es útil como submodelo dentro de modelos de plantación, tal como un simulador de canal de suministros. El modelo CEP presenta la cantidad óptima de bienes para reordenar cuando el nivel de artículos del inventario desciende a una cantidad predeterminada. El modelo, que es un balance entre los costos del pedido y los costos de manejar el inventario, proporciona la cantidad económica de pedido y tiene la siguiente fórmula:

[33] Richard F. Powers, "Optimization Models for Logistics Decisions", *Journal of Business Logistics,* Vol. 10, Núm. 1 (1989), pág. 106.
[34] Íbid., págs. 111–115.

$$Q^* = \sqrt{2DS / IC}$$

donde

Q^* = cantidad óptima de reorden (unidades)
D = demanda anual (unidades)
S = costos de realizar el pedido ($/pedido)
I = costo anual de manejo de inventario (% anual de valor unitario)
C = valor de una unidad mantenida en inventario ($/unidad)

Este modelo se analizó en el capítulo 9.

Modelos de sistemas expertos

Cuando un problema de planeación, como un diseño de red, se resuelve muchas veces en una variedad de situaciones, es probable que el responsable de la planeación desarrolle un entendimiento acerca de la forma en cómo se resuelve el problema. Tal entendimiento con frecuencia trasciende a la formulación matemática más compleja posible. Este conocimiento y habilidad, si se puede capturar en la configuración de un modelo o sistema experto, puede utilizarse para generar soluciones de mayor calidad en general que el anteriormente obtenido con sólo el uso de los métodos de simulación, heurísticos o de optimización. Cook define un sistema experto como

> un programa de computadora artificialmente inteligente que resuelve problemas a un nivel de experto utilizando el conocimiento y la lógica de solución de problemas de los expertos humanos.[35]

Aunque los sistemas expertos se encuentran en su etapa temprana de desarrollo, se han reportado algunas aplicaciones, como en el apoyo para diagnósticos médicos, la exploración mineral, las configuraciones por computadora de diseños a la medida y el apilamiento de cajas sobre tarimas. Se están comenzando a manifestar algunas aplicaciones en logística en las áreas de inventarios, transportación y servicio al cliente.[36] De acuerdo con Cook, los sistemas expertos presentan varias ventajas distintivas sobre los sistemas de planeación convencional:

[35] Robert L. Cook, "Expert System Use in Logistics Education: An Example and Guidelines for Logistics Educators", *Journal of Business Logistics*, Vol. 10, Núm. 1 (1989), pág. 68.

[36] Por ejemplo, ver Mary K. Allen, *The Development of an Artificial Intelligent System for Inventory Management* (Oak Brook, IL: Council of Logistics Management, 1986); Robert L. Cook, Omar K. Helfrich y Stephen Schon, "Using an AI-Expert System to Asses and Train Logistics Managers: A Parts Inventory Manager Application", *Proceedings of the Sixteenth Annual Logistics Conference* (Anaheim, CA, 5 de octubre de 1986), págs. 1-24; Aysegul Ozsomer, Michel Mitri y S. Tamer Cavusgil, "Selecting International Freight Forwarders: An Expert System Application", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 23, Núm. 3 (1993), págs. 11-21; James Bookbinder, Dominique Gervais, "Material-Handling Equipment Selection Via and Expert System", *Journal of Business Logistics,* Vol. 3, Núm. 1 (1992), págs. 149-172; Prabir K. Bagchi y Barin N. Nag, "Dynamic Vehicle Scheduling: An Expert Systems Approach", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 21, Núm. 2 (1991); Lori S. Franz y Jay Woodmansee, "Computer-Aided Truck Dispatching Under Conditions of Product Price Variance with Limited Supply", *Journal of Business Logistics*, Vol. 11, Núm. 1 (1990), págs. 127-139; Peter Duchessi, Salvatore Belardo, John P. Seagle, "Artificial Intelligence and the Management Science Practitioner: Knowledge Enhancements to a Decision Support System for Vehicle Routing", *Interfaces*, Vol. 18, Núm. 2 (marzo-abril de 1988), págs. 85-93; Mary K. Allen y Omar K. Helferich, *Putting Expert Systems to Work in Logistics* (Oak Brook, IL: Council of Logistics Management, 1990), capítulo 3.

- Pueden procesar tanto información cualitativa como cuantitativa, permitiendo que factores críticos subjetivos, como el criterio del ámbito directivo, puedan fácilmente ser parte del proceso de decisión.
- Pueden procesar información indeterminada y proporcionar soluciones con sólo información parcial, lo que permite que se resuelvan problemas más complejos y sin estructura.
- Proporcionan soluciones más rápido y a un menor costo al utilizar sólo la mínima información necesaria para resolver un problema.
- Utilizan la lógica de resolución de problemas del experto, la cual permite que el encargado de la logística mejore fácilmente sus capacidades de tomar decisiones.
- Proporcionan conocimiento transportable, duplicable y documentable.[37]

La identificación de los expertos, la base de conocimiento (mucha de la cual puede ser cualitativa) y la adquisición de su conocimiento relevante son las labores más difíciles por vencer en el desarrollo de modelos de sistemas expertos. Aun así, el concepto de capturar las técnicas y el conocimiento asociado con el arte de planear, con objeto de complementar los métodos científicos ya utilizados en la plantación, tiene tanto atractivo que sin duda los sistemas expertos verán incrementada su popularidad.

Sistemas de apoyo a la toma de decisiones

Se han combinado las bases de datos y las herramientas para el análisis, con el apoyo de la computadora, en lo que se denomina un sistema de apoyo a la toma de decisiones (DSS, Decision Support System). Un DSS apoya a dicho proceso, permitiendo al usuario interactuar directo con la base de datos, para dirigir información a los modelos de decisión y para representar los resultados en forma conveniente. De acuerdo con Andersen, Sweeney y Williams, un DSS cuenta con cuatro subsistemas básicos:

- Capacidad interactiva que permite al usuario comunicarse directamente con el sistema.
- Un administrador de información que hace posible extraer la información necesaria de bases de datos, tanto internas como externas.
- Un subsistema de modelación que permite al usuario interactuar con modelos de la ciencia administrativa mediante la introducción de parámetros y la adaptación de situaciones a las necesidades específicas de la toma de decisiones.
- Un generador de resultados con capacidad gráfica que permita al usuario hacer preguntas tipo escenario y obtener el resultado en forma fácilmente interpretable.[38]

Tales sistemas pueden simplemente proporcionar un ambiente en el que el responsable de tomar las decisiones pueda interactuar, pero se le otorgue suficiente flexibilidad para seleccionar una opción final. Por otro lado, el DSS puede presentar la solución que deberá llevar a cabo el responsable de la decisión. El primer enfoque puede ser más común cuando se encuentra involucrada la planeación estratégica, en tanto que el último puede ser más característico de la planeación operativa. En cualquier caso, el DSS basado en computadora ofrece mayor dimensión del proceso de planeación.

[37] Cook, "Expert System . . .", págs. 68-70.
[38] David R. Andersen, Dennis J. Sweeney yThomas A. Williams, *An Introduction to Management Science*, 4a. ed. (St. Paul, MN: West, 1985), pág. 722.

Aplicación

La compañía Batesville Casket fabrica y distribuye una línea de ataúdes de primera a las casas funerarias a lo largo de Estados Unidos. La distribución tiene lugar en forma regional desde cerca de 50 almacenes que dan cabida a los camiones que realizan entregas diarias para cumplir con los pedidos de las casas funerarias. Batesville desarrolló un sistema de apoyo a la toma de decisiones para sus controladores de camiones. Los pedidos de todo el país se ingresan en la computadora central de la compañía en Basteville, Indiana. Por la noche, las cantidades de los pedidos, junto con la información de la ubicación de los clientes, se transmiten a una microcomputadora en el almacén correspondiente. En combinación con la información almacenada en forma local en la computadora, el administrador de la base de datos dentro del sistema, prepara la información en el formato que requiere el modelo de programación y definición de rutas de los camiones. El controlador local recurre a este modelo para encontrar rutas y programas adecuados para las entregas del día. Utiliza los resultados del modelo como una primera solución a su problema, modificándolos de acuerdo con los pedidos que llegan tarde, los cambios en la disponibilidad del equipo y los requerimientos modificados de los clientes. Puede validar su plan actualizado contra el diseño optimizado antes de decidir su programa final de entregas.

Realización del análisis

Ahora pondremos nuestra atención en la lógica utilizada para planear estratégicamente la red logística. El problema del diseño de la red se ubica en la parte superior de la jerarquía de planeación, como se ilustra en la figura 14-7. Difiere de otros problemas de planeación logística tanto en la frecuencia con la que la planeación se repite como en el grado de acumulación de la información utilizada en el proceso de planeación. Para diferenciar el diseño de red de otros problemas de planeación, considere la forma como Stenger clasifica los problemas en cada nivel de la jerarquía.

- ***Diseño de red.*** El diseño de la red para cumplir con los objetivos estratégicos de la empresa. Se especifica el número, ubicación, asignaciones de productos y capacidades/habilidades de los centros de distribución, plantas y puntos de consolidación. Se establecen objetivos para los niveles de inventario a través de la red. Se determinará el nivel del servicio al cliente que se proporcionará. Se utiliza información acumulada y pronósticos de largo plazo, y no es probable que el proceso de planeación se repita en menos de un año.
- ***Planeación y asignación acumuladas.*** La planeación en este nivel jerárquico determina las cargas o asigna la demanda a centros de distribución, plantas y fuente de materias primas sobre una base acumulada. Se especifican los volúmenes acumulados para compras, producción, almacenamiento y tráfico. La planeación aquí se repite en forma trimestral o mensual.
- ***Planeación de flujo y programación maestra de la producción.*** La planeación en este nivel es similar a la anterior, excepto que la asignación es para la unidad individual de inventario. El objetivo es asegurar que los pronósticos y objetivos de inventario se estén cumpliendo. El horizonte de planeación es mensual o semanal.
- ***Procesamiento de transacciones.*** Este es un problema de planeación de asignación de corto plazo en el que los pedidos de los clientes que llegan de manera aleatoria se asignan para ser atendidos por ubicación o transportista. La planeación es diaria.

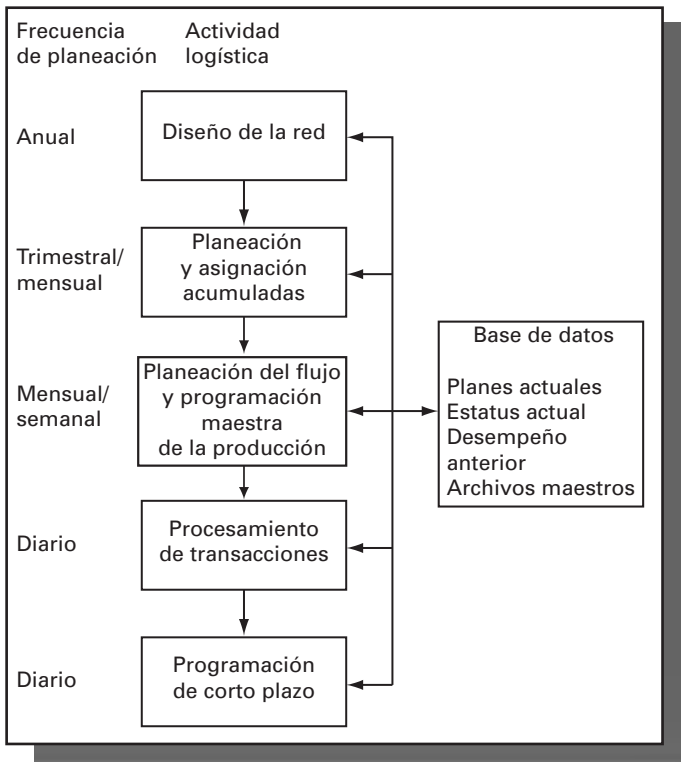


Figura 14-7
Jerarquía de la toma de decisiones logísticas.

Fuente: Adaptado de Alan J. Stenger, "Electronic Information Systems–Key to Achieving Integrated Logistics Management", *Proceedings of the Seventeenth Annual Transportation and Logistics Educator's Conference* (Atlanta, GA, 27 de septiembre de 1987), pág. 16.

- ***Programación de corto plazo.*** Problema de planeación de corto plazo que busca optimizar el uso de recursos, como transportación, para tratar con pedidos específicos abiertos, mientras se cumplen con fechas específicas de procesamiento de pedido. La planeación es diaria.[39]

Los procedimientos utilizados para la planeación estratégica varían de un responsable de planeación a otro y de proyecto a proyecto. Sin embargo, se puede generalizar una práctica adecuada al menos en algunos elementos básicos. Considere los pasos generales de este procedimiento.

Auditoría de los niveles de servicio al cliente

Un primer paso lógico, pero opcional, al diseñar una red es realizar una auditoria del servicio al cliente. Esto implica preguntar a los clientes acerca del nivel del servicio logístico que actualmente están recibiendo y el nivel que les gustaría recibir. Generalmente se utilizan entrevistas personales con los clientes o cuestionarios por correo para contestar preguntas como:

[39] Alan J. Stenger, "Electronic Information Systems-Key to Achieving Integrated Logistics Management", *Proceedings of the Seventeenth Annual Transportation and Logistics Educator, Conference* (Atlanta, GA, 27 de septiembre de 1987), págs. 12-26.

- ¿Qué niveles de servicio esperan los clientes?
- ¿Qué niveles de servicio proporciona la competencia?
- ¿Cómo logra la competencia estos niveles de servicio?
- ¿En qué grado se ha asegurado la empresa de que su estrategia cumpla los niveles deseados de costos y de servicios a los usuarios finales?
- ¿En qué grado la empresa utiliza una "visión de canal" para determinar quién debe hacer qué, cuándo, dónde y de qué forma dentro de su canal de distribución?
- ¿La estrategia logística de la empresa apoya a su estrategia corporativa?[40]

Este tipo de auditoría puede ayudar a establecer el nivel meta de servicio al cliente para el diseño de la red; sin embargo, es muy común que los niveles de servicio sean especificados por la administración de la empresa o sean establecidos en los niveles existentes.

La auditoría externa puede ir seguida de una interna. El propósito de ésta será establecer el nivel de servicio que la empresa actualmente proporciona y definir un parámetro para el servicio. Sterling y Lambert sugieren que la auditoría interna debe contestar las siguientes preguntas:

- ¿Cómo se mide actualmente el nivel de servicio dentro de la empresa?
- ¿Cuáles son las unidades de medición?
- ¿Cuáles son los estándares u objetivos de desempeño?
- ¿Cuál es el nivel actual de desempeño: resultados versus objetivos?
- ¿Cómo se deducen estas mediciones en forma interna?
- ¿Cuál es el sistema interno de informe del servicio al cliente?
- ¿Cómo percibe cada una de las funciones de negocio de la empresa el servicio al cliente?
- ¿Cómo se coordinan estas funciones en un contexto de comunicaciones y control?
- ¿Cuál es la varianza del tiempo de ciclo de pedido, y cómo esta variabilidad impacta el negocio del cliente?[41]

Aunque sería provechoso realizar una auditoría interna como ésta, la mayoría de los responsables de la planeación no lo hacen. En vez de eso, es más probable que se basen en la replicación del diseño actual de la red como la mejor señal de los niveles actuales del servicio al cliente que la empresa está proporcionando.

Sería ideal que estas auditorías pudieran generar una relación confiable entre los niveles del servicio al cliente y los ingresos resultantes que se obtendrían a partir de un diseño particular de red. Ya que rara vez lo hacen, es común tratar el servicio al cliente como una *restricción* sobre el diseño de la red. La restricción puede cambiarse para ver el efecto sobre los costos totales, y en consecuencia atribuir indirectamente el valor del servicio.

Organización del estudio

La primera fase del diseño de red por lo general implica la definición del alcance y los objetivos del proyecto, la organización del equipo de estudio, la determinación de la disponibilidad de la información necesaria y el establecimiento de los procedimientos de recopilación. El propósito es determinar la factibilidad de realizar un estudio de planeación

[40] Jay U. Sterling y Douglas M. Lambert, "Customer Service Research: Past, Present and Future", *International Journal of Physical Distribution & Materials Management*, Vol. 19, Núm. 2 (1989), págs. 1-23.
[41] Íbid.

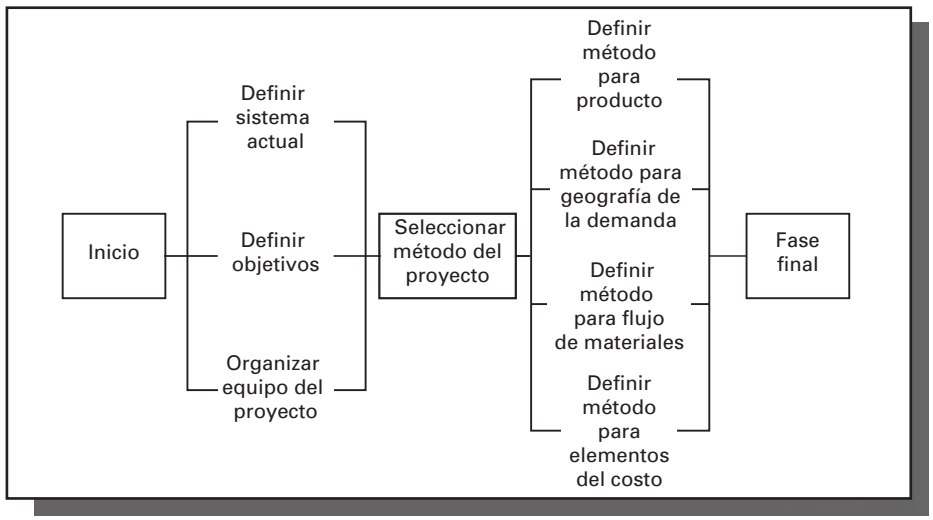


Figura 14-8 Diseño de la red de logística, fase de organización.

Fuente: Frank H. Mossman, Paul Bankit y Omar K. Helferich, *Logistics Systems Analysis*, ed. rev. (Washington, D.C.: University Press of America, 1979), pág. 307.

estratégica dentro de una situación particular, los miembros adecuados que serán incluidos en el grupo de trabajo de estudio y la probabilidad de que el estudio tenga resultados útiles. Mossman, Bankit y Helferich resumieron esta fase inicial del estudio (ver figura 14-8) y presentaron una descripción de las tareas involucradas:

- Revisar la situación logística actual para definir los costos, los niveles del servicio al cliente, y las operaciones logísticas para proporcionar una base para evaluar sistemas logísticos alternativos (la auditoría logística).
- Entrevistar personal directivo clave y cada miembro del equipo del proyecto para asegurar el entendimiento de los objetivos directivos y para obtener un contexto para definir las preguntas específicas y las alternativas de sistemas logísticos que serán evaluadas en el estudio.
- Desarrollar una lista preliminar de supuestos críticos del estudio para la dirección de la empresa, políticas de operación logística y marketing, y lineamientos que son críticos para la evaluación de las alternativas logísticas y para el esfuerzo de recopilación de información.
- Especificar el criterio de evaluación requerido y estudiar el resultado en términos de las variables de costo y de servicio al cliente.
- Seleccionar la técnica de solución (modelo) basado en la idoneidad de las alternativas que se evaluarán, facilidad de preparar la información de entrada, estimados de costo y tiempo, y utilización futura proyectada.
- Definir los requerimientos de información específica y proporcionar los procedimientos de recopilación de información.
- Esquematizar cualquier análisis manual mayor requerido para complementar los resultados del modelo por computadora, para evaluar además el impacto sobre los costos y el servicio al cliente.

- Llevar a cabo una junta de trabajo con el equipo del proyecto para revisar los hallazgos, conclusiones, criterio de selección del modelo y plan de trabajo preliminar del proyecto.
- Estimar los beneficios en términos de reducción de costos (mejoras a las utilidades) o mejoras al servicio al cliente esperados del estudio.
- Recomendar, según convenga, cualquier sugerencia para mejoras inmediatas de costos o del servicio al cliente.
- Definir procedimientos de administración del proyecto y estimar el personal, equipo de cómputo y otros requerimientos de apoyo del estudio.[42]

El grupo de trabajo debe organizarse enfocado en la estrategia. Deberá ponerse atención en incluir a aquellas personas cuyas áreas puedan resultar afectadas por el estudio y a quienes puedan proporcionar perspectivas y juicios valiosos según se necesite. Es de particular importancia incluir personas de las áreas de producción y de marketing.

Evaluación por comparación (*benchmarking*)

La evaluación por comparación (*benchmarking*) o validación del modelamiento u otros procesos analíticos utilizados en la planeación son la segunda fase de la planeación estratégica. La filosofía aquí es crear un punto de referencia, o caso base, utilizando los patrones y políticas de distribución actuales de una empresa. Los métodos utilizados para el análisis deberán ser razonablemente cercanos a lo que genera la contabilidad y los datos estándar. Además de establecer el costo del sistema actual de distribución de manera que los cambios puedan realizarse contra éste, el proceso de evaluación por comparación crea confianza en que los métodos utilizados reflejarán con precisión los costos de distribución de la empresa y el desempeño del servicio al cliente.

El modelamiento es un método popular para el problema del diseño de redes, y la evaluación por comparación juega un papel importante en este proceso analítico. El análisis se dirige a realizar comparaciones entre la red en su configuración actual contra una nueva configuración de red mejorada. Por supuesto, la dirección de la empresa desearía que las comparaciones reflejen las condiciones reales bajo las cuales ellos deben operar. Sin embargo, los modelos son mucho más fáciles de manipular que una red real, por lo que se utiliza el modelamiento como una forma de realizar comparaciones. La comparación de los resultados de los modelos es sustituto de lo que se esperaría en la práctica real. Por esto, la evaluación por comparación es el proceso mediante el cual se valida que el proceso de modelamiento replique fielmente los costos y los niveles de servicio de la red actual. Esto crea la confianza de que cuando el modelo represente configuraciones de red no experimentadas actualmente por la dirección de la empresa, éste corresponderá en un grado razonable con los costos y los niveles de servicio en la práctica.

La evaluación por comparación típicamente procede de la siguiente manera: se establecen grupos representativos de productos. El número de éstos estará determinado a partir de un balance entre conservar las características distintivas de los productos respecto del servicio y los costos, y los beneficios de una menor recopilación de información como resultado de la agrupación de productos.

Luego, las ventas se agrupan geográficamente en un número manejable de centros de demanda. Se definen las políticas del servicio al cliente para cada grupo de productos. Se

[42] Frank H. Mossman, Paul Bankit y Omar K. Helferich, *Logistics Systems Analysis*, ed. rev. (Washington, D.C.: University Press of America, 1970), capítulo 8.

recopila información de las categorías relevantes de costos, como transportación, almacenamiento, inventarios, y producción y compras. Se describen las trayectorias del flujo de los productos para desplazamientos tanto a través del almacén como desplazamientos desde plantas, proveedores y puertos directamente hacia los clientes. Las políticas de inventario también se definen en este momento.

Por último, se establecen las distintas relaciones entre costos, demanda y servicio a partir de la información recopilada. La información se organiza en categorías de costos-servicio para ser comparada contra los gastos reales efectuados. El grupo de trabajo revisa la sensatez de estos resultados para intentar explicar cualquier desviación. Una vez que este proceso de validación está completo, podrá iniciarse la selección del mejor diseño del sistema.

Configuración de la red

El método actual para planear la configuración de la red es utilizar una computadora para manipular la numerosa información implicada en el análisis. Los modelos por computadora que manejan el problema de la ubicación en la planeación de la red han sido particularmente populares. Han resultado útiles para responder preguntas que se relacionan con el número, tamaño y ubicación de plantas, almacenes y terminales; con la forma como se asigna la demanda a ellos; y con los productos que deberían almacenarse en cada instalación. Los objetivos de la configuración de la red son:

- Minimizar los costos logísticos relevantes mientras se cumplan las restricciones sobre el servicio logístico al cliente.
- Maximizar el nivel del servicio logístico al cliente mientras se mantenga la línea sobre los costos logísticos totales.
- Maximizar la contribución a las utilidades por parte de la logística al maximizar el margen entre los ingresos generados por un nivel de servicio logístico al cliente y los costos de proporcionar ese nivel de servicio.

El tercer objetivo se ajusta más con mantener las metas económicas de una empresa, pero debido a la frecuente falta de una relación entre ventas y servicio para los productos del negocio, la mayor parte de los modelos se construyen alrededor del primer objetivo.

Los modelos que ayudan al responsable de la planeación en la búsqueda de la mejor configuración de instalaciones realizarán esto tratando de balancear los patrones de costos en conflicto que se presentan entre producción y compras, almacenamiento y transportación sujeto a limitaciones prácticas, como restricciones de la capacidad de la planta, la capacidad del almacén y el servicio al cliente. Los costos se relacionan con los desplazamientos del producto a medida que ocurren desde las plantas y los proveedores a través de los puntos de almacenamiento intermedio y hacia las ubicaciones de los clientes. En la figura 14-9 se muestra un ejemplo del tipo de informe de salida que puede obtenerse a partir de un modelo de calidad comercial para el análisis de ubicación. Este informe resumido es resultado de una corrida de computadora, donde el usuario especifica las instalaciones y la forma en la que el producto fluye a través de ellas, o el modelo realiza la sección de instalaciones y sus asignaciones. La red tal vez sea como la representada en la figura 14-1. Observe que no se especifica ningún almacén regional en esta solución, sólo almacenes de campo, o de nivel 1.

Establecimiento de los costos de evaluación por comparación y los niveles de servicio

El primer paso en la planeación estratégica de la red es establecer una evaluación por comparación (benchmark) de los costos logísticos y los niveles de servicio. De modo sor-

Figura 14-9 Salida de ejemplo para un grupo de productos proveniente de un modelo de ubicación de instalaciones de calidad comercial.

ANÁLISIS DEL PRODUCTO — Mercancías enlatadas – EU

-RESULTADOS RESUMIDOS DE LA SOLUCIÓN DE LA RED–

Ingreso	E$	0
Costos de producción/compras		13’425,407
Costos de operación de la instalación nivel 3		0
Costo fijo de la instalación nivel 3		0
Costo de manejo de inventario de la instalación nivel 3		0
Costos de operaciones de la instalación nivel 2		0
Costo fijo de la instalación nivel 2		0
Costo de manejo de inventario de la instalación nivel 2		0
Costos de operaciones de la instalación nivel 1		243,478
Costo fijo de la instalación nivel 1		160,000
Costo de manejo de inventario de la instalación nivel 1		283,761
Costo de transportación:		
Plantas/proveedores hacia instalaciones nivel 3		0
Plantas/proveedores hacia instalaciones nivel 2		0
Plantas/proveedores hacia instalaciones nivel 1		584,014
Plantas/proveedores hacia clientes		0
Instalaciones nivel 3 hacia nivel 2		0
Instalaciones nivel 3 hacia nivel 1		0
Instalaciones nivel 3 hacia clientes		0
Instalaciones nivel 2 hacia nivel 1		0
Instalaciones nivel 2 hacia clientes		0
Instalaciones nivel 1 hacia clientes		11’533,930
Costo total		26’230,590
Contribución de utilidades	E$	-26’230,590

–PERFIL DEL SERVICIO AL CLIENTE–

Dist. desde la instalación hasta el cliente (km)	% de la demanda	% Acum. de la demanda	Dist. desde la instalación hasta el cliente (km)	Porcentaje de la demanda	% Acum. de la demanda
0.0 a 100.0	.0	.0	800.0 a 900.0	42.6	73.8
100.0 a 200.0	.0	.0	900.0 a 1,000.0	.0	73.8
200.0 a 300.0	12.1	12.1	1,000.0 a 1,500.0	2.2	76.0
300.0 a 400.0	3.3	15.4	1,500.0 a 2,000.0	24.0	100.0
400.0 a 500.0	4.1	19.5	2,000.0 a 2,500.0	.0	100.0
500.0 a 600.0	11.7	31.2	2,500.0 a 3,000.0	.0	100.0
600.0 a 700.0	.0	31.2	> 3,000.0	.0	100.0
700.0 a 800.0	.0	31.2	Total	100.0	

–CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE LA PLANTA/PROVEEDOR Y COSTOS ASOCIADOS–

Número de planta/ proveedor	Ubicación de planta/ proveedor	Capacidad máxima, kg	Capacidad asignada, kg	Costo planta/ proveedor, E$
1	PARÍS	200,000	69,712	2’180,591
2	ROMA	400,000	354,950	11’244,816
	Totales	600,000	424,662	13’425,407

Figura 14-9 (*cont.*)

Número de planta/ proveedor	Ubicación de planta/ proveedor	----Costos de transporte desde planta/proveedor---- Hacia niv. 3, E$	Hacia niv. 2, E$	Hacia niv. 1, E$	Hacia clientes, E$
1	PARÍS	0	0	131,630	0
2	ROMA	0	0	452,384	0
	Totales	0	0	584,014	0

–CAPACIDAD DE LAS INSTALACIONES DE NIVEL 1 Y COSTOS ASOCIADOS–

Número de instalación de nivel 1	Ubicación de instalación de nivel 1	Capacidad máxima, kg	Capacidad máxima, kg	Costos de almacenam., E$	Costos de manejo, E$
1	MILÁN	900,000	354,950	57,080	141,980
2	LIVERPOOL	900,000	29,411	7,010	16,176
3	HANNOVER	900,000	40,301	5,918	15,314
	Totales	2,700,000	424,662	70,008	173,470

Número de instalación de nivel 1	Ubicación de instalación de nivel 1	Costos fijos de la instalación, E$	Nivel de inventario estimado, E$	Costos de mantto. de inv., E	Transporte del nivel 1 hacia los clientes, E$
1	MILÁN	50,000	1’364,567	231,976	11’418,378
2	LIVERPOOL	80,000	131,685	22,387	52,648
3	HANNOVER	30,000	172,928	29,398	62,904
	Totales	160,000	1’669,180	283,761	11’533,930

–ASIGNACIONES DE CLIENTES A INSTALACIONES–

Volumen, kg	Núm. sec.	Ubicación del cliente	Núm. sec.	Ubicación del punto de atención	Tipo de punto de serv.	Dist. serv., km	Tiempo de serv. días	Costo entregado E$/kgr
38,955	1	LISBOA	1	MILÁN	LVL 1	1,930	.00	133.31
148,384	2	BARCELONA	1	MILÁN	LVL 1	837	.00	36.09
14,035	3	LONDRES	2	LIVERPOOL	LVL 1	316	.00	39.24
22,966	4	BERLÍN	3	HANNOVER	LVL 1	295	.00	36.61
19,794	5	BRUSELAS	1	MILÁN	LVL 1	842	.00	36.10
49,891	6	ROMA	1	MILÁN	LVL 1	535	.00	35.66
15,376	7	DUBLÍN	2	LIVERPOOL	LVL 1	277	.00	39.13
17,335	8	COPENAGUE	3	HANNOVER	LVL 1	461	.00	36.97
12,537	9	BURDEOS	1	MILÁN	LVL 1	868	.00	36.14
9,327	10	PALERMO	1	MILÁN	LVL 1	1,004	.00	133.31
62,993	11	ATENAS	1	MILÁN	LVL 1	1,694	.00	133.31
13,069	12	LUCERNA	1	MILÁN	LVL 1	239	.00	35.23

–ASIGNACIONES DE INSTALACIONES DE NIVEL 1 A PUNTOS DE ATENCIÓN–

Volumen, kg	Núm. sec.	Ubicación de instalación de nivel 1	Núm. sec.	Ubicación del punto de atención	Tipo de punto de atención	Dis. de atención, km	Tiempo de attn. días	Costo de cap., E$/kgr
354,950	1	MILÁN	2	ROMA	PLANTA	563	.00	34.31
29,411	2	LIVERPOOL	1	PARÍS	PLANTA	719	.00	37.39
40,301	3	HANNOVER	1	PARÍS	PLANTA	762	.00	35.20

prendente, unas cuantas empresas han descrito cuidadosamente sus patrones de flujo de distribución, su desempeño del servicio al cliente y sus costos totales de distribución. Este proceso establecerá los niveles base de costos, de servicio y de configuración contra los cuales podrán compararse las mejoras, como se muestra en la tabla 14-6. Los resultados pueden utilizarse para validar el proceso de modelación así como para incrementar la confianza en que las mejoras de los costos proyectadas serán precisas.

	Tipo de corrida del modelo[a]			
Tipo de costo	Eval. por comparación	Eval. compar. mejorada[b]	Red de ahorros máximos[c]	Red instrumental[d]
Inventario y almacenamiento				
Capital	$ 103,110	$ 87,008	$ 87,626	$ 100,737
Impuestos y seguros	38,756	47,957	19,037	34,022
Procesamiento de pedidos	284,366	223,820	198,210	262,413
Almacenamiento	165,788	138,412	119,749	119,293
Manejo	299,863	265,252	329,385	253,479
Subtotal	$ 891,883	$ 762,449	$ 754,007	$ 769,944
Transportación				
Planta al almacén	$ 261,853	$ 213,567	$0	$ 206,542
Almacén al cliente	1,041,661	1,113,978	1,453,812	925,043
Subtotal	$1,303,514	$1,327,545	$1,453,812	$1,131,585
Producción	A capacidades actuales		Sin restric. de capacidad	
En Atlanta	$3,861,765	$3,906,037	$ 832,112	$3,404,138
En Indianápolis	667,057	593,876	770,427	906,619
En Houston	587,140	498,835	2,408,764	692,441
Subtotal	$5,115,962	$4,998,748	4,011,303	$5,003,198
Total	$7,311,359	$7,088,742	$6,219,122	$6,904,727
Servicio al cliente	Muy cercanos		Sin restricción	
Porcentaje de demanda				
< 300 millas	65%	63%	30%	68%
< 500 millas	85%	82%	45%	98%
Núm. de almacenes	9	9	3	10
Ahorros vs. *evaluación comparativa*	0	$ 222,617	$1,092,237	$ 406,632[e]

[a] Los costos son totales para los tres grupos de productos.
[b] Las restricciones de capacidad de planta se encuentran en los niveles actuales pero sin restricciones de servicio. El resultado son envíos directos de las plantas.
[c] Sin restricciones de capacidad de la planta o de servicio al cliente. El resultado son envíos directos desde las plantas.
[d] Están en efecto las capacidades actuales de la planta y el nivel deseado de servicio se establece en 500 millas.
[e] Esencialmente no se requiere inversión en planta o en almacenamiento para obtener estos ahorros.

Tabla 14-6 Resumen de resultados seleccionados de un análisis de red para una compañía de especialidades químicas

Evaluación por comparación mejorada

Con el tiempo, eventos como movimientos en la demanda, ajuste de las tarifas de transporte y cambios de tarifas de manejo y de almacenamiento pueden ocasionar que un diseño de red bien planeado se desempeñe a nivel de costo-servicio por debajo de lo óptimo. Por esto, la siguiente tarea en la planeación estratégica de la red es optimizar los patrones logísticos sujetos al número y ubicación actuales de las instalaciones, capacidades de estas instalaciones, niveles actuales de servicio, etcétera. Esta es una estrategia de no inversión, donde pueden lograrse los ahorros de costos sin un desembolso de capital. Como se mostró en la tabla 14-6, una compañía de especialidades químicas pudo obtener más de $400,000 por año en ahorros de costos (red instrumentable) a partir de un costo total de la evaluación por comparación (benchmark) de $7.3 millones, o reducción de 6%, al incrementar el número de puntos de almacenamiento utilizados y permitiendo que el servicio al cliente se efectuara conforme a la política de servicio establecida. Este es un resultado importante, ya que las alteraciones posteriores a la red serán adecuadamente comparadas con la evaluación comparativa mejorada, en vez de hacerlo con el nivel de costos de la evaluación comparativa.

Oportunidad máxima

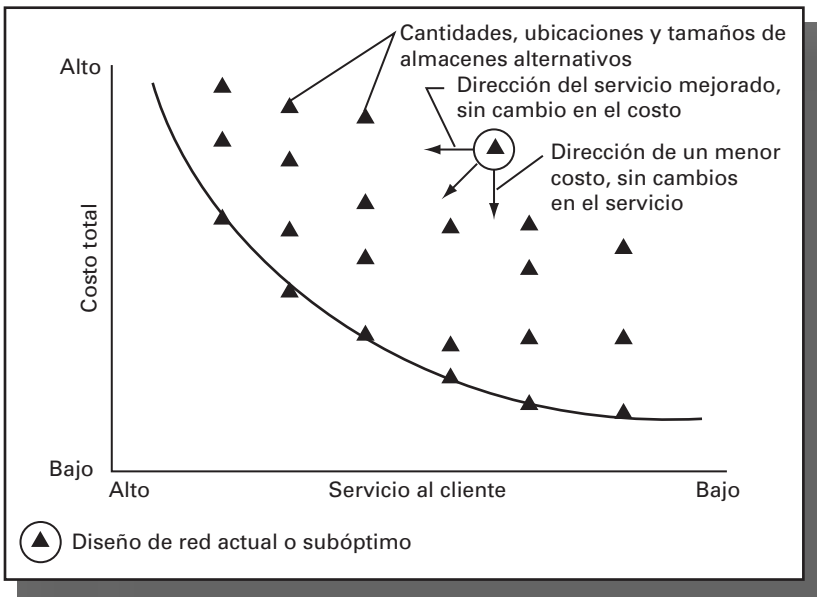
En la planeación estratégica de la red resulta informativo determinar la red con los menores costos variables posibles. Esto se logra al encontrar la red óptima sin restricciones de capacidad de planta y de almacén, sin las restricciones del servicio al cliente y considerando un gran número de ubicaciones de plantas y almacenes. Como indica la tabla 14-6, este resultado, aunque atractivo desde un punto de vista de ahorro en costos, por lo general se logra mediante un servicio reducido y un movimiento de la demanda a las instalaciones más allá de su capacidad para manejarla. Obviamente, si estos ahorros no fueran los suficientemente grandes para apoyar un cambio por encima de la evaluación comparativa mejorada, una posterior exploración de alternativas sería infructuosa, ya que éstas tendrían sólo costos mayores.

Diseños prácticos

Entre la evaluación comparativa mejorada y el diseño de máximos ahorros puede existir un número de estrategias de red aceptables, las cuales pueden encontrarse mediante repetidas corridas del modelo que representen distintas configuraciones de red y supuestos sobre demanda, costos y servicio. Estas configuraciones pueden generar una combinación de niveles de costos y de servicio, como se muestra en la figura 14-10. Es decir, para un nivel de servicio dado, pueden existir varias cantidades distintas de almacenes y sus correspondientes ubicaciones (configuraciones), que puedan lograr un nivel de servicio particular, pero con distintos niveles de costos. Al trazar una línea suavizada a través de los puntos de menor costo se genera una curva de diseño de red que identifica la alternativa de menor costo para cada nivel de servicio (ver figura 14-10). Sobre esta curva de diseño se busca una configuración de red mejorada. Si un diseño actual no es óptimo, y por tanto yace por encima de la curva de diseño, entonces moviendo el diseño a la izquierda se incrementará el servicio al cliente sin incrementarse los costos. Al mover el punto de diseño hacia abajo disminuyen los costos mientras que se mantiene el mismo nivel de servicio al cliente. Al mover el punto de diseño hacia la curva de diseño se permite la máxima oportunidad para una mejora de costo o de servicio.

Los resultados de costos o de servicio para un diseño práctico como ese se muestran en la tabla 14-6. Observe que en este caso la compañía eligió un diseño conservador, donde el número de puntos de almacenamiento y el nivel del servicio al cliente fueron mayo-

Figura 14-10
Curva de diseño para la configuración de red generada a partir de las alternativas de menor costo para un nivel de servicio al cliente particular.



res que los de la evaluación comparativa y de la evaluación comparativa mejorada. Los ahorros siguen siendo sustanciales en más de $400,000 por año (más de 5% de los costos totales de producción y distribución). También se presentaron algunas mejoras en el nivel del servicio logístico al cliente.

Análisis de escenarios

Siempre existirán errores al estimar la información de entrada de costos y capacidades para la planeación de la red. Puede haber diseños atractivos que resulten subóptimos desde un punto de vista de la modelación, pero que reflejan mejor las consideraciones prácticas más allá del proceso de modelación. La repetición del análisis utilizando escenarios de redes seleccionadas, cifras actualizadas de costos y capacidades, o ambos, se denomina *análisis de escenarios*. Es una forma de utilizar el proceso analítico para apoyar la introducción de un mayor realismo en la búsqueda de un diseño de red práctico. El análisis de escenarios es considerado con frecuencia más valioso para la administración de la empresa que la habilidad del proceso de modelado para encontrar una solución óptima a un conjunto dado de datos. Esto se debe a que en general existe mínima diferencia de costos entre redes configuradas cercanamente, y porque un diseño de red mejorado alrededor del cual la organización pueda concentrarse, por lo general es más valioso que una solución matemáticamente óptima.

Datos comparables[43]

Resulta atractivo utilizar datos reales de la compañía para diseñar una red, pero esto puede llevar a un diseño sesgado. Suponga que un almacén dentro de una red de distribu-

[43] Esta sección está basada en Ballou, "Information Considerations", pág. 12.

ción de una compañía que puede estar deficientemente ubicado tiene bajos costos unitarios por su alto volumen actual de utilización y por el esparcimiento relativo de sus costos fijos. Por otro lado, otro almacén tiene buena ubicación, pero se le han asignado altos costos unitarios debido a subutilización. Si estos costos se utilizaran para analizar la red, el almacén deficientemente ubicado sobreviviría y el otro quizá sería cerrado o seguiría siendo subutilizado. Puede ocurrir una situación similar entre tarifas asignadas a almacenes existentes y posibles, que serían nuevos y que tendrían el equipo más moderno.

Un remedio para esta clase de incomparabilidad de datos es asignar una tarifa estándar a cada almacén que neutralice los efectos de la edad y el tamaño, pero que preserve los diferenciales de costo debidos a la ubicación. Naturalmente, la estandarización de las tarifas en esta forma puede alejar la demanda de los almacenes existentes donde existe un alto costo hundido y una inversión emocional por parte de la administración de la empresa. Aquí deberá tomarse una decisión.

Análisis del año de diseño

Idealmente, el diseño o el rediseño de una red estará basado en algún periodo en el futuro, ya que un nuevo diseño no puede ponerse en marcha de manera instantánea. Naturalmente, puede realizarse un pronóstico de la demanda para el año de diseño. Una cuestión importante es si los costos también deberán ser proyectados. Con excepción del pronóstico de la demanda, la proyección de los costos al futuro da por resultado pérdida de contacto con la evaluación por comparación (benchmark) y su comparabilidad relacionada. Ésta por lo general es una mejor práctica para mantener los costos constantes, a menos que también cambien en la evaluación por comparación.

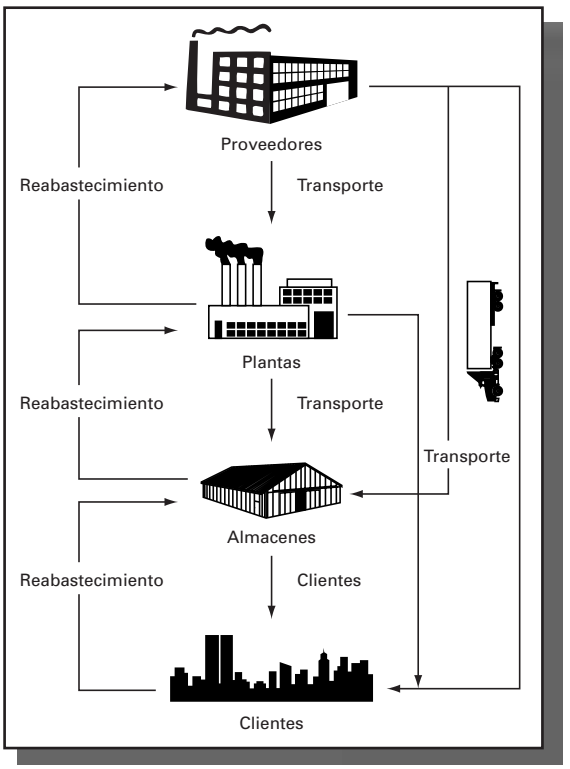
Diseño del canal

La configuración de la red implica principalmente cuestiones de ubicación, donde se enfrentan temas relativos al inventario y a la transportación sobre una base acumulada. Existen varias consideraciones adicionales respecto de la forma como los productos deben dirigirse a través de la red configurada. Los productos que fluyen a través de un canal de suministro/logístico típico, como el mostrado en la figura 14-11, hacen surgir algunas de las siguientes preguntas:

- ¿Qué cantidad de cada artículo de los productos debería almacenarse en cada nivel y en cada punto de almacenamiento?
- ¿Cuál es el mejor servicio de transporte para utilizar entre cada nivel?
- ¿Deberá perseguirse una estrategia de fabricar para pedido o de fabricar para inventario?
- ¿Deberá utilizarse una estrategia de inventarios de incremento o de demanda, o una planeación de requerimientos?
- ¿Cuáles métodos de transmisión de la información entre niveles de almacenamiento son mejores?
- ¿Cuáles métodos de pronóstico se desempeñan mejor?

Por esto, la planeación del canal se ocupa de la planeación de la operación de la red configurada. El mejor método de diseño es considerar la configuración de la red y el diseño del canal en forma simultánea. Este es un problema muy complicado, porque las dimensiones fundamentales sobre las cuales cada una se basa son muy diferentes. La configuración de la red está principalmente basada en una dimensión *espacial* o geográfica, en tanto que el diseño del canal está basado en una dimensión *temporal* o de plazo. Aunque la combinación de cuestiones espaciales y temporales en un análisis singular es ideal, las

Figura 14-11
Canal logístico y de suministros de múltiples niveles.



consideraciones prácticas requieren que sean tratadas de manera independiente y luego trabajadas en forma iterativa para lograr un diseño general satisfactorio.[44] Ya que no existen modelos efectivos integrados que manejen el problema completo de la planeación estratégica de la cadena de suministros, por lo general es necesario descomponer el problema complejo en partes manejables. Esto ha implicado resolver los problemas de ubicación de instalaciones, políticas de inventario y planeación del transporte en forma independiente pero recursiva, donde los resultados de un análisis se utilizan como entradas para otro. El proceso rápidamente converge a una respuesta satisfactoria para el problema ampliado.

Un método fundamental para la planeación del canal implica el uso de simulación por computadora del canal de la cadena de suministros. La acción de tales simuladores es simular de cerca al flujo de pedidos y productos a través de una red configurada. Los pedidos se generan en patrones similares a los que realmente experimenta una compañía. Dada una configuración específica de red, sus procedimientos y políticas de operación, sus servicios de transporte y sus políticas de servicio al cliente, el producto se rastrea a través del canal para cumplir los patrones simulados de pedidos. Las estadísticas de ventas, costos y tiempos de espera en general son capturadas por la simulación. En la figura 14-12 se muestra un resumen de información representativa generada por un simulador

[44] Waiman Cheung, Lawrence C. Leung y Y. M. Wong, "Strategic Service Network Design for DHL Hong Kong", *Interfaces*, Vol. 31, Núm. 4 (2001), págs. 1-14.

Figura 14-12 Resumen de información representativa generada por PIPELINE MANAGER, simulador del canal de suministros.

PIPRPT01

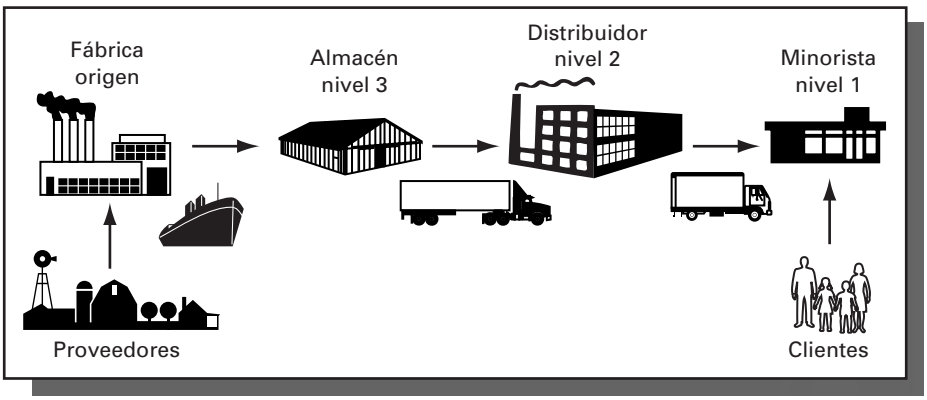
ABC Manufacturing Co.
Resumen de información
de Pipeline Manager

Ejecución núm.: 001 — Días tot. de ejec. del mod.: 364 — #Arts.: 17 — #Alm. de prod. terminado: 03
Semilla aleatoria: 002 — Periodos tot.: 13 — #Prov.: 05 — #Alma. centrales: 01
Días de edo. estable: 028 — Alm. de mat. prima: 03 — #Alm. que atienden clientes: 05
#Plantas: 03 — #Clientes: 20

Estadística	Clientes	Alm. que atienden clientes	Almacenes centrales	Almacenes de productos terminados	Plantas	Almacenes de materia prima	Proveedores	Totales
Ventas	105’300,000							105’300,000
Costos:								
De adquisición							40,000,000	40’000,000
De producción					15’000,000			15’000,000
De envío		4’000,000	3’500,000	2’500,000	750,000	800,000		11’550,000
De almacenamiento		3’500,000	2’800,000	3’000,000	1’500,000	2’500,000		13’300,000
De manejo de inventario		1’250,000	750,000	800,000		600,000		3’400,000
De proce. de pedidos		900,000	550,000	400,000		450,000		2’300,000
Costos totales								85’550,000
Margen								19’750,000
Niv. del serv. al cliente	87%							87%
Ritmo de atención		90%	85%	93%	84%	86%		89%
Tiempo de entr. prom. (días)	4.8	4.5	6.8	6.3	8.4	2.4	22.0	55.2
Rotación de inventario		8.4	20.2	35.0		18.5		4.3

Unid. Prom. de Inv.		150,200	62,600	44,700		81,000	298,000
Valor $ Prom. del Inv.		12’500,000	5’200,000	3’700,000		2,400,000	23’800,000
#Pedidos levantados	12,200	960	200			180	13,540
#Unid. de ped. levant.	1’300,000	1’285,000	1’310,000			1,296,000	5’191,000
Tamaño prom. (unids.)	106	1,340	6,500			6,700	380
Tamaño promedio ($)	8,840	110,000	540,000			230,000	31,800
#Envíos recibidos	12,500	965	195	2,200	2,210	690	18,760
#Unidades recibidas	1’281,250	1’230,000	1’275,000	1’280,000	1’285,000	1’250,000	7’601,250
Tamaño promedio ($)	103	1,275	6,540	580	581	1,800	405
Tamaño prom. (Unids.)	8,510	100,000	545,000	48,300	18,350	58,000	32,400
			10,750				
#Ped. retrasados	845	850	55	45	450	350	1,750
#Unid. en ped. retrasados	71,500	85,000	48,400	171,000	270,000	206,500	782,650
Tamaño prom. (Unid.)	85	100	880	3,800	600	590	447
Tamaño prom. ($)	7,565	8,100	73,000	317,000	49,800	19,000	35,780
#Div. y parciales	370	550	480	190			1,220
#Unid. divi./parcial	38,850	35,000	28,000	15,200			78,200
Tamaño prom. (Unid.)	105	63	58	80			64
Tamaño prom. ($)	7,350	5,280	4,100	6,640			5,320
#Cancelaciones	150						150
#Unid. canceladas	18,750						18,750
Tamaño prom. (Unid.)	125						125
Tamaño promedio ($)	10,750						10,750

Figura 14-13 Canal simulado para SCSIM.



de este tipo. Al modificar elementos como el método para pronóstico de ventas, los medios de transportación, las políticas de control de inventarios y los métodos para atender los pedidos, se puede evaluar el estado del diseño del canal para cumplir los requerimientos de servicio al cliente en forma eficiente.

Simulación del canal en LOGWARE

Existe un simulador estocástico llamado SCSIM disponible en el software LOGWARE que acompaña a este libro. Tiene la capacidad de replicar las características operativas de un canal de suministros que cuenta con los múltiples niveles que se muestran en la figura 14-13. Debido a que la simulación es multinivel, puede verificarse el efecto de las políticas del canal de uno o más miembros del canal sobre los otros miembros. Los costos de operación y los factores de desempeño describen los medios de transporte, el procesamiento de pedidos y la manufactura. Si se desea, se pueden utilizar distintos métodos de pronóstico y control de inventarios junto con un control manual de inventarios y pronósticos del usuario. Se pueden especificar los patrones de demanda, o pueden generarse utilizando patrones estadísticos. Se pueden especificar velocidades de abastecimiento, que pueden ser resultado del flujo de productos a través del canal.

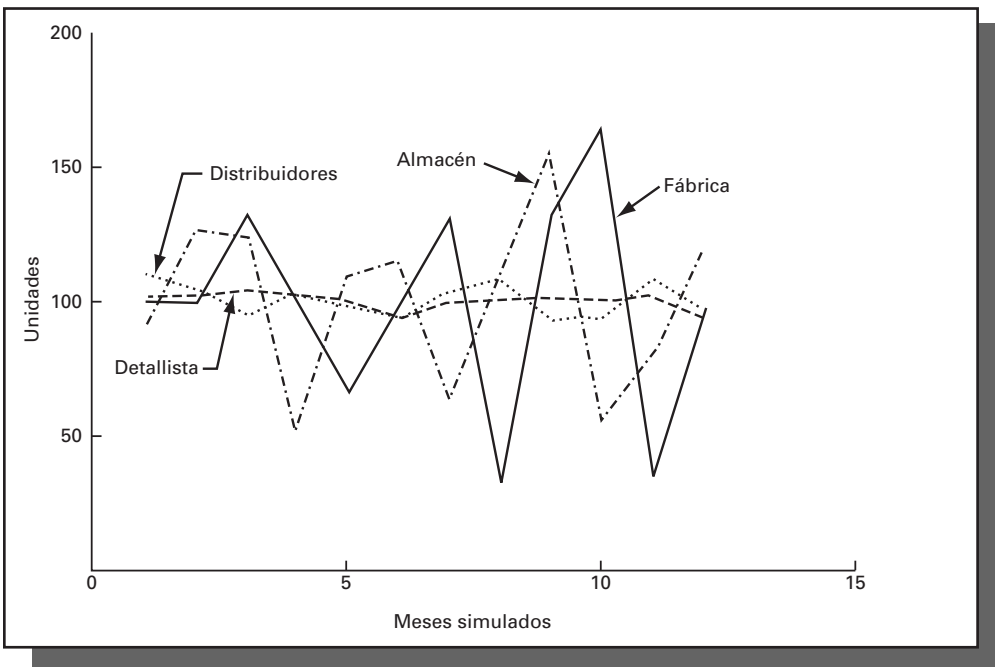
Para ejecutar una simulación, prepare la base de datos como se indica en el manual del usuario. Existen al menos dos cuestiones que se debe tener cuidado al ejecutar un simulador estocástico. Primero, recuerde que las simulaciones deben manejarse como experimentos. Es decir, se obtienen resultados de un número de corridas o ensayos, que son analizados estadísticamente utilizando prueba de hipótesis. Al seleccionar aleatoriamente un número semilla se obtiene el resultado de un experimento, o ensayo. Utilizando el mismo número semilla genera el mismo resultado si no se ha realizado ningún cambio en la base de datos. Al seleccionar un número semilla distinto se obtiene una secuencia de eventos distinta con resultados experimentales diferentes. Deberá obtenerse un tamaño razonable de muestra (número de corridas) al promediar adecuadamente los resultados y al validarlos estadísticamente para comparar un diseño de cadena de suministros con otro.

La segunda cuestión es la longitud del tiempo simulado. Las simulaciones están sujetas a tales condiciones iniciales que tomar los resultados de periodos anteriores puede generar impresiones erróneas. La simulación necesita ser ejecutada durante un tiempo

suficiente hasta que se alcancen condiciones de estado de estable. La graficación de los resultados de la corrida puede mostrar los periodos iniciales no representativos, los cuales pueden ser eliminados. Por ejemplo, si se establece la longitud de la simulación en cinco años, puede ser razonable aceptar resultados de los años dos al cinco. Se sacrifican los resultados del año uno. Para consideraciones adicionales en el uso de simuladores como herramientas analíticas, refiérase a un buen libro acerca de modelación de simulación.[45]

Para ilustrar el uso del simulador, considere el efecto de "látigo" que se presenta dentro de los canales de suministro. En un canal de suministros de múltiples niveles donde cada miembro deriva su patrón de demanda a partir de los pedidos del miembro inmediato cadena abajo, se dice que los patrones de demanda muestran mayor variabilidad con cada miembro sucesivo hacia arriba de la cadena.[46] La falta de certeza de la mayor variabilidad en la demanda puede ocasionar mala planeación y altos costos de operación. El fenómeno de "látigo" puede ilustrarse utilizando el simulador SCSIM. Al dar seguimiento a las ventas a través de un canal de suministros que consta de un punto de producción que atiende a un almacén que da servicio a un distribuidor el cual atiende a un detallista y quien finalmente a su vez atiende a un cliente final (ver figura 14-13), se obtiene la gráfica de ventas que se muestra en la figura 14-14. Se muestra un patrón representativo de las ventas para

Figura 14-14 Ilustración de la creciente variabilidad en la demanda (efecto de "látigo") dentro de un canal de suministros de múltiples niveles.



[45] Por ejemplo, véase Averill M. Law y W. David Kelton, *Simulation Modeling and Analysis*, 3a. ed. (Nueva York: McGraw-Hill, 2000), especialmente los capítulos 5 y 10.
[46] Frank Chen, Zvi Drezner, Jennifer K. Ryan y David Simchi-Levi, "Quantifying the Bullwhip Effect in a Simple Supply Chain: The Impact of Forecasting, Lead Times, and Information", *Management Science*, Vol. 46; Núm. 3 (marzo de 2000), págs. 436-443.

un año simulado para cada miembro del canal. Observe las crecientes oscilaciones para los miembros de la parte de arriba de la cadena. Algunas de las formas como pueden suavizarse los patrones de ventas y mejorar la planeación del canal incluyen:

- Reducir la incertidumbre a través del canal mediante centralización de la información, haciendo de esta manera que toda la información crítica de planeación, en especial la información de la demanda de los clientes, esté disponible para todos los miembros.
- Planear los niveles de inventario de los eslabones de la cadena con base en la demanda del final del canal (cliente).
- Mejorar los pronósticos.
- Reducir tiempos de entrega.
- Mejorar reglas de decisión de inventarios.
- Formar asociaciones y cooperar en cuanto a tamaño de pedidos, entregas y plazos de pedidos.

El simulador es útil para verificar el efecto de modificar las reglas de decisión de inventarios, las modalidades de transporte, los procedimientos de procesamiento de pedidos, y los métodos de pronóstico sin perturbar las operaciones reales. Pueden observarse las implicaciones de costo-servicio para el canal completo, así como para los miembros individuales del canal.

Planeación integrada de la cadena de suministros

La planeación integral de la cadena de suministro es un proceso que involucra varios elementos, muchos de los cuales ya se han analizado anteriormente en este capítulo. A menos que se conozca la relación entre el servicio al cliente y el diseño logístico, la planeación inicia con la determinación de un nivel meta de servicio al cliente. Se requiere de una encuesta de los deseos de los clientes o de un nivel específico de servicio al cliente. Después de integrar la información apropiada podrá comenzar el análisis.

Una correcta planeación implica tanto la configuración de red como el diseño del canal. La integración de estas dos no se logra por lo general utilizando un solo modelo.[47] Sin embargo, se puede utilizar un modelo de red en conjunto con un simulador de canal. Se obtendrán resultados preliminares del número de instalaciones, sus ubicaciones y el volumen asignado a ellas a partir de la aplicación de un modelo de ubicación. Luego, estos resultados se proporcionarán al simulador del canal para que puedan evaluarse los efectos del inventario, el análisis del tipo de transporte y los niveles del ritmo de abastecimiento. Se capturan las relaciones actualizadas de inventario y nivel de actividad, los tipos de transporte con sus tarifas asociadas, y los costos de instalaciones en el modelo de ubicación para su reevaluación. La resolución de los dos modelos continúa en forma recursiva hasta que ya no existan cambios en las entradas y salidas del modelo. Este proceso permite la convergencia para una solución óptima, o muy cercana a la óptima, para el problema integrado de planeación de ubicación del canal. Sin embargo, en la práctica, gran parte de la planeación de la cadena de suministros se realiza utilizando sólo el análisis de ubicación mientras se estiman los efectos sobre cuestiones operativas.

[47] Para un primer intento de crear un modelo de planeación único, vea Donald J. Bowersox, *et al*., *Dynamic Simulation of Physical Distribution Systems* (East Lansing, MI: Division of Research, Graduate School of Business Administration, Michigan State University, 1972).

Estudio de un caso de ubicación

Para ilustrar algunas de las principales ideas presentadas en este capítulo, considere el proceso de evaluación y de recomendación para el sistema de producción y almacenamiento de una compañía de especialidades químicas. Se pone especial atención en la forma como se obtienen y se manejan distintos elementos de información, en los métodos utilizados para llegar a una recomendación final, en las restricciones prácticas que tenían que considerarse para una solución satisfactoria y en el informe de los resultados a la dirección de la empresa.

Descripción del problema

La compañía Aqua-Chem producía una línea de químicos para el tratamiento de agua, los cuales se utilizaban para controlar los depósitos de minerales en calderas, la formación de algas en sistemas comerciales de aire acondicionado y el crecimiento de bacterias en albercas. Los clientes se ubicaban a lo largo de Estados Unidos; las ventas eran de aproximadamente $15 millones anuales para cerca de 21 millones de libras de químicos. La compañía creció notablemente mediante la adquisición de empresas similares pequeñas y regionales, las cuales por último le proporcionaron una cobertura de mercado de todo el país. La distribución del producto se mantenía desde las plantas adquiridas igual que se hacía antes de su adquisición. Seis de estas compañías y plantas se unieron bajo este programa, pero nunca se había realizado una revisión sistemática del sistema logístico completo. Por esto, se propuso un estudio de la red de cadena de suministros para sugerir mejoras en el flujo de los productos a los clientes.

La primera tarea de esta empresa fue formar un grupo de trabajo con personal de la compañía y consultores, quienes dirigirían el estudio. Este grupo constó del director de compras, el vicepresidente de mercadotecnia, el contralor, el administrador de tráfico, un analista del departamento de planeación y un profesor de logística de una universidad local, quien actuaría como consultor para el grupo. Se dio prioridad a la definición del alcance del estudio. Ya que los costos de las compras tienen un papel importante en la determinación de la red de distribución final, se consideraron todos los costos de los principales proveedores, desde la producción de los productos hasta el cliente. Dependiendo de que los productos eran ordenados por los clientes en cantidades de cargas de camión completas o en cantidades menores a una carga de camión completa, tendrían que considerarse redes independientes de cadenas de suministro. Las compras de volumen serían enviadas directo desde una de las seis plantas ubicadas en Portland, Oregon; Phoenix, Arizona; Minneapolis, Minnesota; Dallas, Texas; Asheville, North Carolina o Akron, Ohio. Los pedidos más pequeños serían atendidos desde almacenes o desde plantas que actuarían como almacenes para sus territorios locales. Los costos asociados con cada uno de estos canales de distribución se resumen en la figura 14-15.

Manejo del tamaño del problema

La compañía distribuía cientos de artículos individuales a miles de clientes. Debido a la enorme cantidad de información requerida, fue necesario en este estudio, así como en la mayor parte de los estudios de distribución, realizar simplificaciones selectivas que reducían el esfuerzo computacional mientras se mantenía la precisión en la representación del problema. Primero, rara vez es necesario incluir todo el volumen de productos en el

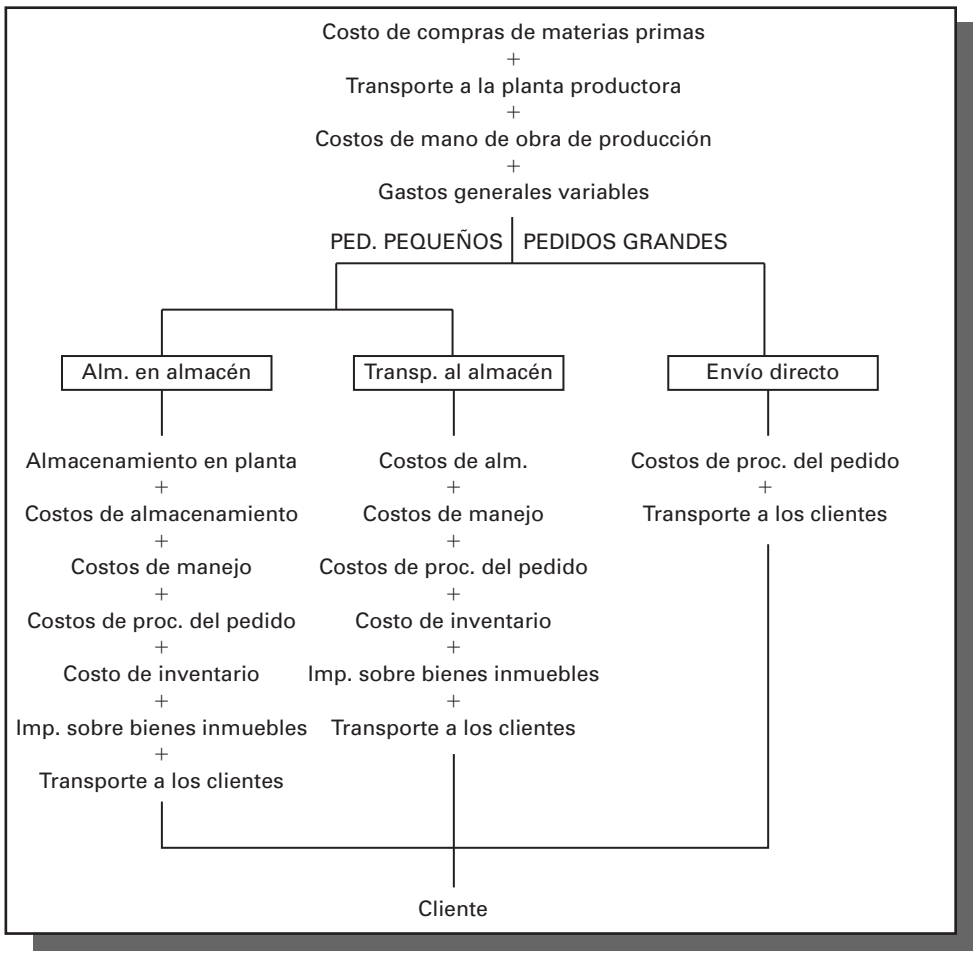


Figura 14-15 Canales de distribución alternativos y costos de distribución para la compañía Aqua-Chem.

estudio. Muchos productos representan menos de 5% de las ventas y pueden ser justificadamente eliminados. Esta es una aplicación del principio 80/20.

En segundo lugar, pueden agruparse aquellos productos que tengan características similares de distribución y que se manejen como uno solo. Para este estudio, los productos se separaron en los calificados como categoría 55 y los calificados como categoría 60 de acuerdo al esquema de clasificación de productos de vehículos automotores. Estos grupos de productos se dividieron aún más en aquellos que se desplazan a través de la red de almacenes y los que se desplazan en volumen directamente a los clientes, desde las plantas sin la necesidad de almacenamiento.

Tercero, se obtiene muy poca ventaja al tomar en cuenta a cada cliente en una base individual. Al agruparlos por región geográfica se reduce sustancialmente el esfuerzo computacional así como el esfuerzo de recopilación de información. En este estudio se eligieron 323 grupos de demanda, siguiendo los códigos postales de tres dígitos.

Finalmente, se utilizaron curvas matemáticas para estimar las tarifas de transportación entre puntos seleccionados en la red. Se esperaba una pequeña pérdida en la precisión de la estimación de las tarifas de transporte, ya que las curvas de regresión se ajustaron a las categorías de tarifas sobre varias distancias con coeficientes de determinación (R^2) de más de 90 por ciento. De forma alternativa, el número de tarifas individuales que se hubiera obtenido para cuatro grupos de productos, 6 plantas, 22 almacenes actuales y potenciales y 323 agrupaciones de demanda, habría sido de 170,544. Por razones prácticas esto último se rechazó.

El análisis

Las principales preguntas para Aqua-Chem eran, ¿cuáles plantas deberían utilizarse?, y ¿qué almacenes deberían atender?, ¿cuántos puntos de almacenamiento deberían utilizarse? y ¿dónde deberían ubicarse? Estas cuestiones tenían que responderse en el contexto de ninguna restricción específica del servicio al cliente y con los clientes pagando los costos de transportación de salida del almacén. Se utilizó un modelo por computadora para evaluar configuraciones alternativas de red. Los resultados de algunas de las corridas más interesantes se muestran en la tabla 14-7.

Observe primero en la tabla 14-7 que la red actual de distribución-producción tenía un costo total de $6'348,179, con 63% de la demanda dentro de 300 millas de distancia desde un punto de abastecimiento. Se utilizaban doce puntos de almacenamiento. A continuación se obtuvo una evaluación comparativa mejorada. Recuerde que este es el caso donde no se realiza ninguna inversión en la red. Sólo se permiten ajustes en los territorios de planta y de almacén, el cierre de instalaciones y el servicio permanece prácticamente igual que el nivel de la evaluación comparativa. El resultado fueron ahorros anuales de $109,669, o de 2% con respecto del nivel de costos de la evaluación por comparación (benchmark). Observe que los costos de transporte del almacén al cliente se mantuvieron constantes.

Los resultados de múltiples corridas por computadora revelaron que el diseño de la red de distribución era dictado por los costos de producción en las ubicaciones de planta. Es decir, los costos de materias primas, que eran cerca de 80% de los costos de producción, estaban sujetos a descuentos por volumen debido a las cantidades de compra y al tamaño del envío. Esto dio por resultado tres plantas como el número óptimo, y estaban ubicadas en Akron, Asheville y Dallas (ver tabla 14-7). Una posterior reducción en el número de plantas disminuyó los costos totales de producción, pero los ahorros fueron más que compensados por los costos de distribución incrementados. El diseño óptimo de red parecían ser tres plantas entre 12 y 14 puntos de almacenamiento. Las tres plantas estaban balanceadas en términos de sus capacidades para tomar máxima ventaja de las economías de compras. Los ahorros resultantes eran de aproximadamente $188,000, o 3% con respecto de los costos de evaluación por comparación. Estos ahorros podrían lograrse con una inversión de $11,000 para desplazar una parte del equipo de producción a la planta de Dallas.

Informe de los resultados financieros a la dirección

Abordar las inquietudes financieras de la alta dirección implica tres mediciones clave: Flujo de efectivo, utilidades y rendimiento sobre la inversión. Idealmente, los cambios de diseño de red que se proponen incrementarán a cada una de estas mediciones.

Tipo de costo	Evaluación comparativa	Eval. comp. mejorada	3 plantas 9,000 mi.[a]	3 plantas 900 mi.[b]	3 plantas 700 mi.[c]	2 plantas 900 mi.[d]
Inventario						
Costo de mantto.	$ 77,974	$ 121,196	$ 95,549	NC[e]	$ 120,406	NC[e]
Proc. de pedidos	188,863	137,050	168,990	NC	165,770	NC
Almacenamiento	6,294	6,176	4,240	NC	6,574	NC
Manejo	17,241	25,319	20,450	NC	29,534	NC
Impuestos	12,545	40,532	24,066	NC	24,934	NC
Subtotal	$ 302,917	$ 330,273	$ 313,295	$ 341,830	$ 347,218	$ 355,331
Transportación						
De la planta al alm.	$ 40,212	$ 123,517	$ 212,014	$ 297,457	$ 331,658	$ 386,587
Del almacén al cliente	1,109,026	1,101,988	1,137,232	1,059,713	1,041,467	1,064,781
Subtotal	$1,149,238	$1,225,505	$1,349,246	$1,357,170	$1,373,125	$1,451,368
Producción						
@Akron	$1,965,740	$2,969,211	$1,470,728	$1,470,728	$1,470,728	$2,232,639
@Asheville	898,941	302,464	1,460,730	1,460,730	1,460,730	0
@Dallas	534,117	693,787	1,529,343	1,529,343	1,529,343	2,220,233
@Phoenix	714,377	277,043	0	0	0	0
@Portland	335,989	376,769	0	0	0	0
@Minneapolis	446,860	63,458	0	0	0	0
Subtotal	$4,896,024	$4,682,732	$4,460,801	$4,460,801	$4,460,801	$4,452,872
Total	$6,348,179	$6,238,510	$6,123,342	$6,159,801	$6,181,144	$6,259,571
Servicio al cliente						
Porcentaje de demanda						
< 300 millas	63%	67%	61%	63%	65%	71%
< 500 millas	88	82	79	85	88	83
Ahorros vs. *evaluación comparativa* (benchmark)	0	$109,669	$224,837	$188,378	$167,035	$ 88,608

[a] Sin restricción de servicio al cliente.
[b] Restricción de servicio al cliente de 900 millas.
[c] Restricción de servicio al cliente de 700 millas.
[d] Restricción de servicio al cliente de 900 millas.
[e] No calculado específicamente.

Tabla 14-7 Diseño alternativo de la red de distribución para la compañía Aqua-Chem.

Flujo de efectivo

¿La red modificada liberó alguna cantidad de efectivo que pudiera utilizarse para pagar sueldos u otras cuentas? La reducción del valor del inventario es un lugar obvio donde un activo puede convertirse en efectivo. Aunque el valor del inventario no se informa directamente en la tabla 14-7, se puede estimar el cambio. El costo de mantenimiento del inventario es alrededor de 30% del subtotal en la tabla 14-7. En consecuencia, para la alter-

nativa de tres plantas de 900 millas, el costo de mantenimiento de inventario se estima en $0.30 \times 341,830 = \$102,549$. El cambio del costo de mantenimiento a partir de la evaluación por comparación es $\$121,196 – 102,549 = \$18,647$. Si el costo de mantenimiento es 25%, el cambio de valor del inventario será $\$18,647/0.25 = \$74,588$. Si el costo de capital es 80% del costo de mantenimiento (es decir, 20 puntos porcentuales de 25%), el flujo de efectivo será *positivo* en $0.80 \times 74,588 = \$59,670$ por año.

Utilidad

La utilidad es el ahorro en los costos generales que puede contribuir a la utilidad global de la compañía. Es el residuo de todos los costos relevantes. Esta es la diferencia entre los costos de la evaluación por comparación mejorada y el diseño de red elegido. La contribución con las utilidades, o ahorros, es $\$188,378 – 109,669 = \$78,709$ por año. Además, alguna parte de la diferencia de $109,669 entre la evaluación comparativa y la evaluación comparativa mejorada también puede ahorrarse, pero no está claro qué cantidad se materializará. Ambos son ahorros *positivos*.

Rendimiento sobre la inversión

La medición del rendimiento sobre la inversión refleja el gasto que debe realizarse para lograr los ahorros en costos. Comparado con la evaluación comparativa mejorada, esto lleva a $[(188,378 – 109,669)/11,000] \times 100 = 716\%$ de rendimiento simple sobre la inversión. De nuevo el valor es *positivo,* y en este caso muy importante.

Conclusión

Este estudio de caso brevemente ilustró algunos procedimientos y la lógica utilizada en la planeación estratégica de las redes de cadenas de suministro. En este caso particular, las consideraciones de suministro físico fueron una influencia dominante sobre la estructuración de la red de distribución. Además, la política de precios neutralizó el impacto de los costos de transportación de salida del almacén que ocasionaban aún más que los costos de producción fueran un factor dominante. Por último, el control o la restricción del servicio al cliente incrementó los costos, como lo hizo la proliferación de los puntos de almacenamiento. El diseño final es un balance de todos los costos relevantes, las consideraciones de servicio al cliente y las inquietudes de riesgo y costumbres de los directivos de la empresa. Obtener la aceptación del diseño requiere abordar las cuestiones financieras tan importantes para la alta dirección.

Comentarios finales

El desempeño de la cadena de suministros no puede ser mejor de lo que la configuración de la red le permita. Malas ubicaciones de instalaciones, asignaciones erróneas a ellas, niveles inadecuados de inventarios, medios de transporte no adecuados y niveles de servicio al cliente no deseados pueden ser resultado de una red de cadena de suministros desactualizada o inadecuadamente diseñada. El resultado de esto será una contribución a las utilidades de parte de la cadena de suministros que será menor de lo que debiera ser. La planeación periódica de la configuración de red asegura una buena base para un canal de suministros eficiente y efectivo.

En este capítulo se delineó un proceso de tres partes para la planeación de la cadena de suministros. Primero se analizaron los requerimientos y fuentes de datos, y la conver-

sión a información relevante necesaria para la planeación. Después, se delinearon los métodos cuantitativos útiles en el proceso de planeación. Por último, se presentó un proceso lógico utilizando métodos de ubicación y simulación para llegar a un adecuado diseño de red. Este proceso general de planeación se utiliza por muchos consultores en administración y responsables corporativos de la planeación.

PREGUNTAS

Algunos problemas en este capítulo pueden resolverse total o parcialmente con la ayuda de software de computadora. Los paquetes de software en LOGWARE más importantes para este capítulo son MULREG (*MR*), MILES (*D*), SCSIM (*S*) y WARELOCA (*W*). El icono del CD

aparecerá con la designación del paquete de software cuando el análisis de problema esté apoyado por uno de estos programas de software. Puede encontrarse preparada una base de datos para el problema si se requiere bastante información de entrada. Cuando el problema pueda resolverse sin la ayuda de la computadora (a mano), se mostrará el icono de la mano

Si no se presenta ningún icono, se asumen cálculos manuales.

1. Explique qué planeación estratégica de red aplica para una cadena de suministros. Seleccione varias compañías, de manufactura y orientadas al servicio, con y sin fines de lucro , y señale cómo llevaría a cabo el diseño de la red de cadena de suministros. Discuta los datos necesarios, las fuentes de dónde podría obtenerlos, y la forma como convertiría los datos en la información necesaria para el análisis. Proponga una metodología que crea conveniente para el problema del diseño de red.
2. Desarrolle una lista factible de aquellos miembros que deberían incluirse en el equipo de estudio de la planeación estratégica de red para asegurar la terminación y puesta en práctica exitosa del estudio.

o

3. Calcule la distancia de camino esperada entre los siguientes pares de puntos utilizando longitud y latitud como los puntos de coordenadas.

	Ubicación		Longitud	Latitud
a. Desde	Lansing, MI	USA	84.55°O	44.73°N
Hacia	Lubbock, TX	USA	101.84°O	33.58°N
b. Desde	Toronto	CAN	79.23°O	43.39°N
Hacia	Atlanta, GA	USA	84.39°O	33.75°N
c. Desde	São Paulo	BR	46.37°O	23.32°S
Hacia	Río de Janeiro	BR	43.15°O	22.54°S
d. Desde	Londres	UK	0.10°O	51.30°N
Hacia	París	FR	2.20°E	48.52°N

Utilice un factor de circuito de caminos de 1.15.

o

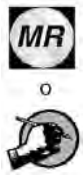
4. Suponga que cierto sistema de coordenadas de cuadrícula se sobrepuso a un mapa de Estados Unidos. Los números de cuadrícula están calibrados en millas, y existe un factor de circuito de caminos de 1.21. Encuentre las distancias esperadas entre los siguientes pares de puntos:

	Ubicación	Coordenada X	Coordenada Y
a. Desde	Lansing, MI	924.3	1675.2
Hacia	Lubbock, TX	1488.6	2579.4
b. Desde	El Paso, TX	1696.3	2769.3
Hacia	Atlanta, GA	624.9	2318.7
c. Desde	Boston, MA	374.7	1326.6
Hacia	Los Ángeles, CA	2365.4	2763.9
d. Desde	Seattle, WA	2668.8	1900.8
Hacia	Portland, OR	2674.2	2039.7

5. La siguiente tabla presenta una muestra de tarifas comunes de transporte por camión en $/cwt. para envíos en el rango de 2,000 a 5,000 lbs, con origen en Chicago y destino a varias ciudades alrededor de Chicago. Las tarifas se toman de la publicación *Rocky Mountain Motor Tariff* y el kilometraje de *Rand McNally Mileage Guide*.

Núm.	Tarifa	Millas	Núm.	Tarifa	Millas	Núm.	Tarifa	Millas
1	4.15	169	21	11.44	1438	41	16.60	2384
2	16.20	2220	22	16.35	3017	42	12.64	1653
3	9.11	1108	23	9.32	962	43	13.85	2272
4	6.81	427	24	10.48	1341	44	3.80	107
5	13.53	2197	25	12.36	1520	45	13.84	1830
6	9.84	1226	26	9.54	1091	46	9.01	929
7	15.28	2685	27	10.94	1390	47	10.94	1455
8	6.92	465	28	9.63	1092	48	10.85	1162
9	9.51	936	29	11.99	1507	49	11.05	1435
10	8.03	751	30	5.95	208	50	15.61	2752
11	7.80	848	31	7.27	581	51	15.93	2866
12	12.77	1923	32	12.79	1694	52	14.18	2376
13	11.28	1004	33	11.30	1469	53	14.88	2018
14	7.80	657	34	11.47	1301	54	16.35	2984
15	8.24	955	35	6.37	315	55	17.81	3128
16	8.40	801	36	17.60	2670	56	16.35	3016
17	13.38	1753	37	8.23	574	57	10.02	1207
18	12.77	1998	38	3.70	109	58	8.00	448
19	10.69	1337	39	16.69	3144	59	12.07	1634
20	8.50	799	40	16.00	1907			

A partir de esta información construya una curva de estimación de tarifas de transporte de la forma $R = A + B \times$ distancia. Utilizando esta curva, ¿qué tarifa estimaría para un envío que se desplaza 500 millas? ¿Qué tan bien cree usted que la línea representa con precisión a las tarifas?



6. La asociación de agricultores de fruta de California distribuye distintos productos de fruta seca a lo largo del país utilizando 24 almacenes públicos. Estime la cantidad de inventario que tendría un nuevo almacén si se conocieran las ventas anuales a través del almacén. La compañía ha recopilado los siguientes datos de sus 24 almacenes:

Núm.	Nivel de actividad anual del almacén, $	Nivel promedio del inventario, $	Núm.	Nivel de actividad anual del almacén, $	Nivel promedio del inventario, $
1	21,136,032	2,217,790	13	6,812,207	1,241,921
2	16,174,988	2,196,364	14	28,368,270	3,473,799
3	78,559,012	9,510,027	15	28,356,369	4,166,288
4	17,102,486	2,085,246	16	48,697,015	5,449,058
5	88,228,672	11,443,489	17	47,412,142	5,412,573
6	40,884,400	5,293,539	18	25,832,337	3,599,421
7	43,105,917	6,542,079	19	75,266,622	7,523,846
8	47,136,632	5,722,640	20	6,403,349	1,009,402
9	24,745,328	2,641,138	21	2,586,217	504,355
10	57,789,509	6,403,076	22	44,503,623	2,580,183
11	16,483,970	1,991,016	23	22,617,380	3,001,390
12	26,368,290	2,719,330	24	4,230,491	796,669

Construya una curva de rendimiento de inventario para estos almacenes. Si un almacén tiene un nivel de actividad anual de $50'000,000, ¿cuánto inventario estimaría para este almacén? ¿Qué comentarios puede hacer acerca del almacén 22? Explique cómo podría utilizarse esta relación en la planeación de la red. Recuerde que quizá usted ya haya construido esta curva en un problema del capítulo 9.

7. Se encuentran disponibles varias categorías amplias de tipos de modelos para apoyar al análisis de la red. Identifíquelas y compárelas. Sugiera las circunstancias bajo las cuales cada una sería una opción apropiada.
8. El sistema experto es un nuevo método para resolver problemas complejos. El sistema experto está basado en la forma en que los humanos resuelven problemas según lo expresa un conjunto de estatutos del tipo SI-ENTONCES. Como si quisiera explicar a alguien cómo ubicar un almacén, desarrolle al menos diez estatutos SI-ENTONCES que lo guiarían a buenas opciones de ubicación. Por ejemplo, un estatuto podría ser "Si se ubicará un almacén, entonces es probable que una buena ubicación sea el centro de la demanda que atenderá el almacén".
9. ¿Cuál es la utilidad de cada uno de los siguientes puntos en la metodología para encontrar el mejor diseño de red?
   a. Evaluación por comparación (benchmark)
   b. Evaluación por comparación mejorada
   c. Diseño de máxima oportunidad
   d. Análisis de escenarios
10. Explique la forma en que el diseño estratégico de la red puede ser favorable o desfavorable para la eficiencia y efectividad del canal de suministros para operar en una base de rutina.
11. Sealy es el mayor fabricante de colchones en Estados Unidos, teniendo la mayor participación de mercado. La compañía se enfoca en el segmento de mercado de más alta calidad y más alto precio. Sealy fabrica para el pedido, y por tanto no mantiene inventario de productos terminados. Los envíos a los detallistas toman un día o dos. El vicepresidente de los servicios de manufactura está preocupado de que los inventarios de materias primas de Sealy se encuentren demasiado altos. Estas materias primas consisten en: 1) alambre para resortes, 2) espuma de hule para el relleno, 3) madera para los marcos y 4) terliz

para el material de cobertura. Existen actualmente 20 plantas ubicadas a lo largo de Estados Unidos.

¿Cómo propondría enfrentar este problema?

ESTUDIO DE CASO

Usemore Soap Company:

Estudio de un caso de ubicación de almacén

La Usemore Soap Company fabrica una línea de compuestos de limpieza, utilizados principalmente para propósitos industriales e institucionales. Los productos comunes incluyen compuestos de limpieza general, polvos para lavadoras de trastes, agentes para enjuague, jabones de manos, compuestos para lavado de vehículos y productos de limpieza para la industria de alimentos. La línea de productos está compuesta de más de 200 productos y cerca de 800 artículos individuales. Los tamaños de empaque van desde cajas de 18 libras hasta tambores metálicos de 550 libras de peso.

Las ventas se generan a través de los 48 estados contiguos, con ventas adicionales en Hawai, Alaska y Puerto Rico. Los clientes por lo regular adquieren en cantidades menores de 10,000 libras, es decir, cantidades menores que un camión de carga (LTL). Unos cuantos clientes compran en cantidades completas de camión y a granel. Las ventas anuales de LTL, que pasan a través de los almacenes, se encuentra en el orden de 150 millones de libras. Las ventas de volumen que se atienden directo desde las plantas añaden otros 75 millones de libras. Estas ventas representan alrededor de $160 millones en ingreso.

El principal esfuerzo de marketing proviene de una fuerza de ventas directas que opera bajo el incentivo de una estructura liberal de comisiones de ventas. Los vendedores se consideran a sí mismos como emprendedores individuales y tienen gran autonomía dentro de la compañía. La estrategia de marketing ha demostrado ser exitosa para la compañía, en cuanto a que con frecuencia se le considera como una de las divisiones más rentable dentro de su ampliamente diversificada organización a la que pertenece.

A pesar de la alta rentabilidad, la administración de la compañía está preocupada acerca de los costos de producción y distribución de la línea de productos para mantener su ventaja sobre la competencia. El crecimiento y el desplazamiento de los patrones de demanda están forzando la capacidad de producción de las cuatro plantas actuales. Además, el cambio en los costos de distribución, así como el hecho de que la red de distribución no ha sido estudiada en 12 años, hacen surgir cuestionamientos acerca de la adecuada ubicación de los almacenes. Lo que a continuación se presenta es un resumen de las condiciones problemáticas que enfrenta la administración. Su objetivo es sugerir una red de distribución mejorada que cumpla las políticas establecidas de servicio al cliente y minimice los costos totales de distribución-producción de la red.

ANTECEDENTES

La red actual de distribución consiste en cuatro plantas de líneas completas de productos ubicadas en Covington, Kentucky; Nueva York, Nueva York; Arlington, Texas, y Long Beach, California. Las plantas actualmente se encuentran fabricando productos de bajo volumen para sus clientes al nivel de 595,102 cwt.,[1] 390,876 cwt., 249,662 cwt. y 241,386 cwt., respectivamente. Esta producción se envía desde las plantas hacia almacenes de campo dentro de la red de distribución, o hacia clientes dentro de las áreas loca-

[1] cwt. = 100 libras.

Núm.	Ubicación	Núm.	Ubicación	Núm.	Ubicación
1	Covington, KY[a]	9	Cleveland, OH	17	Milwaukee, WI
2	Nueva York, NY[a]	10	Davenport, IA	18	Orlando, FL
3	Arlington, TX[a]	11	Detroit, MI	19	Pittsburgh, PA
4	Long Beach, CA[a]	12	Grand Rapids, MI	20	Portland, OR
5	Atlanta, GA	13	Greensboro, NC	21	W Sacramento, CA
6	Boston, MA	14	Kansas City, KS	22	W Chester, PA
7	Buffalo, NY	15	Baltimore, MD		
8	Chicago, IL	16	Memphis, TN		

[a] Almacenamiento de campo como parte de las operaciones de la planta.

Tabla 1 Ubicaciones actuales de las plantas y de almacenes públicos

les de las plantas. En el segundo caso, las plantas funcionan como almacenes de campo así como centros de producción.

El almacenamiento tiene lugar en 18 almacenes públicos y en las ubicaciones de las cuatro plantas, como se muestra en la tabla 1. Estos almacenes están dispersos de manera que la mayoría de los clientes se encuentren a un día de entrega desde un punto de almacenamiento; es decir, alrededor de 300 millas. Con excepción de las plantas que funcionan como almacenes, los almacenes son suministrados en cantidades completas de carga de camión. Los envíos en cantidades menores a una carga de camión atienden a los clientes. El procesamiento de los pedidos de los clientes ocurre en la ubicación de cada almacén.

Además, se están considerando dos posibles sitios para plantas en Chicago, Illinois y en Memphis, Tennessee. Se consideran sitios de almacenes adicionales en las ubicaciones mostradas en la tabla 2.

Los posibles sitios de almacenes se eligen con base en sugerencias del personal, adecuadas tarifas de almacenamiento, disponibilidad de un buen servicio de almacenamiento, cercanía con las concentraciones de demanda y cumplimiento con la red de distribución. De los sitios existentes y posibles, se espera que pueda obtenerse una mezcla mejorada de almacenes. Además, será necesaria la expansión de las plantas, ya sea en los sitios actuales o en nuevos, para cumplir las proyecciones de demanda futura. Específicamente se buscan respuestas a las siguientes preguntas:

1. ¿Cuántos almacenes deberán operarse ahora y en el futuro?

Tabla 2 Posibles ubicaciones de almacenes públicos

Núm.	Ubicación	Núm.	Ubicación	Núm.	Ubicación
23	Albuquerque, NM	32	Phoenix, AZ	41	Louisville, KY
24	Billings, MT	33	Richmond, VA	42	Columbus, OH
25	Denver, CO	34	St Louis, MO	43	Nueva York, NY
26	El Paso, TX	35	Salt Lake City, UT	44	Hartford, CT
27	Camp Hill, PA	36	San Antonio, TX	45	Miami, FL
28	Houston, TX	37	Seattle, WA	46	Mobile, AL
29	Las Vegas, NV	38	Spokane, WA	47	Memphis, TN P[a]
30	Minneapolis, MN	39	San Francisco, CA	48	Chicago, IL P[a]
31	Nueva Orleans, LA	40	Indianapolis, IN		

[a] Se prefieren para almacenes en sitios adicionales de las plantas.

2. ¿Dónde deberán ubicarse?
3. ¿Cuáles clientes y qué demanda asociada deberán asignarse a cada almacén y planta?
4. ¿Qué almacenes deberán suministrarse desde cada planta?
5. ¿Debería ampliarse la capacidad de producción? ¿Cuándo, dónde y en qué cantidad?
6. ¿Qué nivel de servicio al cliente debería proporcionarse?

INFORMACIÓN DE VENTAS

La fabricación de líquidos y polvos de jabón no es un proceso complicado y es fácilmente reproducible, lo cual contribuye a una importante competencia dentro del mercado. La naturaleza no diferenciada de los productos de jabón da por resultado una intensa competencia, tanto en precio como en servicio. El servicio al cliente es de particular importancia, ya que es directamente afectado por la elección de los almacenes. No se puede asignar una cifra específica en dinero al valor total de un buen servicio de distribución, ya que éste depende de las actitudes de los clientes hacia el servicio y de la preferencia resultante. La percepción general en la compañía es que el servicio debería mantenerse en un alto nivel para no poner en riesgo las ventas. Un "alto" nivel de servicio se interpreta como un tiempo de entrega de 24 a 48 horas o menos. Esto por lo general ubica a los clientes en algún lugar entre 300 y 600 millas de los almacenes.

Las ventas anuales de los productos que se desplazan a través de la red de almacenes son 147 millones de libras para un ingreso anual ligeramente mayor de $100 millones. Las ventas se distribuyen de manera similar que los centros de población con un margen de utilidades promedio de 20%. La figura 1 muestra los seis principales territorios de ventas, con volúmenes de ventas en libras por estado. La compañía tiene más de 70,000 cuentas individuales de clientes y éstas se agrupan en 191 centros de demanda activa. Un centro de demanda es una agrupación de áreas por código postal en una sección postal como el foco de la demanda agrupada. Estos centros de demanda, junto con la forma como son atendidos, se presentan en la tabla 3. Además, se muestra el territorio de ventas en el que se agrupa el centro de demanda.

El plan a cinco años muestra un crecimiento de volumen a lo largo de Estados Unidos. Este crecimiento no será uniforme debido a los patrones de población y de migración de negocios, a la competencia y a los distintos esfuerzos promocionales. Los cambios de volumen en comparación con los niveles actuales de volúmenes se proyectan por territorio de ventas de la siguiente manera:

Región núm.	Territorio de ventas	Factor de crecimiento a cinco años[a]
1	Noreste	1.30
2	Sureste	1.45
3	Medio Oeste	1.25
4	Noroeste	1.20
5	Suroeste	1.15
6	Oeste	1.35

[a] Multiplicadores para el volumen actual de ventas.

COSTOS DE PRODUCCIÓN Y CAPACIDADES

Los costos variables de producción en las plantas actuales varían por ubicación. Esta varianza es resultado de las diferencias en las tarifas de la mano de obra, las compras en volumen de las materias primas, y las diferencias en el costo del transporte de entrada debido a la cercanía de las plantas con las principales fuentes de materias primas. Estos costos se enumeran a continuación.

Planta	Costo variable de producción
Covington, KY	$21.0
Nueva York, NY	19.9
Arlington, TX	21.6
Long Beach, CA	21.1

La posible planta en Chicago tiene un costo estimado de $21.0 por cwt., y la planta de Memphis tiene un costo de $20.6 por cwt. La expansión en cualquier planta existente tendría el costo variable actual. Los costos fijos no están incluidos para las plantas existentes porque son costos hundidos. Sin embargo, para construir una nueva planta o expandir una actual costaría un míni-

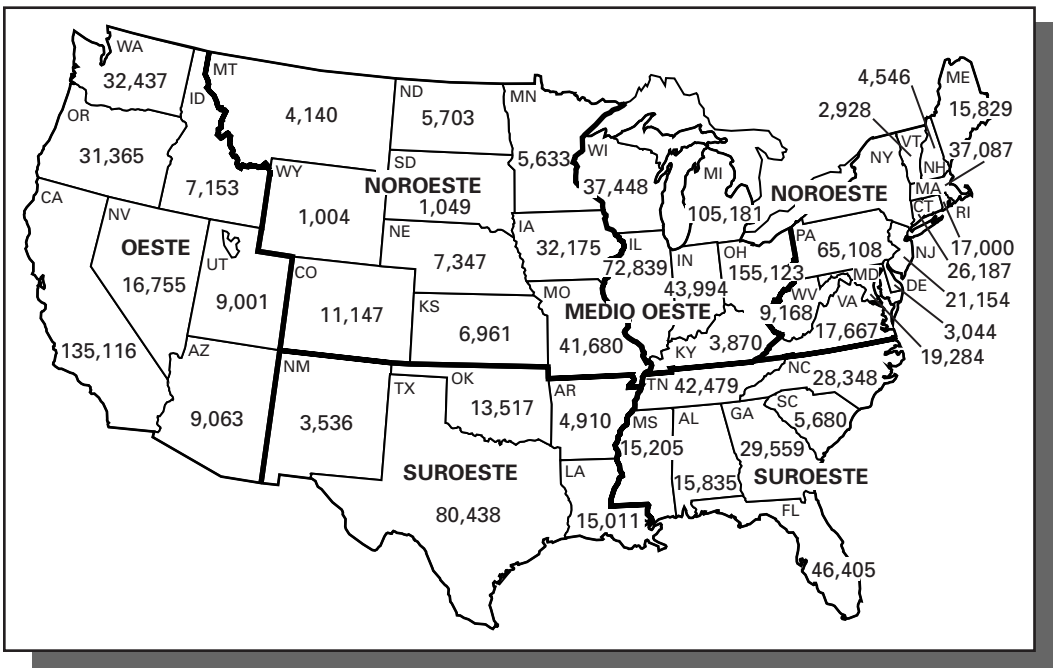


Figura 1 Ventas anuales de Usemore Soap Company en cwt. por estado con los distritos principales de ventas señalados.

mo de $4 millones. Este costo daría por resultado una producción para la planta (o un incremento de producción en el caso de una adición de planta) de hasta 1 millón de cwt. por año para el futuro cercano.

De acuerdo con los patrones actuales de distribución, las plantas existentes se encuentran produciendo, en relación con la capacidad del nivel de actividad (en cwt), a los siguientes ritmos:

Planta	Capacidad actual	Producción actual	Porcentaje de capacidad
Covington, KY	620,000 cwt.	595,102 cwt.	96%
Nueva York, NY	430,000	390,876	91
Arlington, TX	300,000	249,662	83
Long Beach, CA	280,000	241,386	86%
Total	1'630,000	1'477,026	91

TARIFAS Y CAPACIDADES DEL ALMACENAMIENTO

Los contratos de la compañía con almacenes públicos muestran que las tarifas están catalogadas como de almacenamiento, de manejo y de accesorios. Las tarifas de almacenamiento están cotizadas en una base de $/cwt./mes de inventario promedio mantenido. Se incurre en los cargos de manejo cuando se presenta movimiento de entrada o de salida del producto y están calculados en una base $/cwt. Los cargos de accesorios son por una variedad de servicios, como la preparación del conocimiento de embarque, la entrega local, y el reporte del estado del inventario. Se estiman cargos similares para los almacenes de las cuatro plantas como distribución justa de las operaciones de producción.

También asociados con el almacenamiento se encuentran los costos de reabastecimiento del inventario. Estos son costos para preparar el pa-

peleo para el reabastecimiento y el despacho normal de inventario al almacén. Los costos de pedidos del inventario y los costos de pedidos de clientes se calculan al multiplicar el costo promedio por pedido por el número promedio de pedidos para el almacén.

En la tabla 3 se proporcionan los costos relativos al almacén y otra información asociada. Los costos para los puntos existentes se toman de los registros de la compañía. Aquéllos para los posibles almacenes se determinan a partir de cuotas de almacenaje en las ciudades adecuadas. Se realizan estimados a partir de los costos cuando tal información no está disponible de otra forma.

No hay límites efectivos de capacidad sobre el almacenamiento público. La necesidad de espacio de Usemore es una pequeña fracción de la capacidad total de los almacenes públicos. Por otro lado, un nivel de actividad de al menos 10,400 cwt. por año, o una carga de camión de reabastecimiento cada dos semanas, es el nivel mínimo de actividad necesario para abrir un almacén. El espacio disponible está limitado en los cuatro sitios de planta actuales. Los límites de almacenamiento en términos rendimiento en Covington = 450,000 cwt., en Nueva York = 380,000 cwt., en Arlington = 140,000 cwt. y en Long Beach = 180,000 cwt.

COSTOS DE TRANSPORTACIÓN

Tres tipos generales de transportación son importantes para Usemore: cargos de transporte de entrada, de salida y de entrega local. Los costos de transportación de entrada a un almacén dependen del volumen enviado y de la distancia entre la planta y el almacén. Una muestra de tarifas comunes de transporte por camión a distintas distancias muestra que la tarifa de transporte entre una planta y un almacén (P-A) puede aproximarse en forma razonable por una función lineal. Es decir, la tarifa de carga de camión es

$$\text{Tarifa P-A (\$/cwt.)} = 0.92 + 0.0034\,d\ \text{(millas)}$$

donde d es la distancia entre los dos puntos.[2] Los costos totales del transporte de entrada están determinados por la multiplicación de la tarifa P-A por el volumen asignado para fluir entre la planta y el almacén.

Los costos de transportación de salida del almacén dependen de la distancia en que se encuentra un cliente con respecto del almacén. Si el cliente está aproximadamente dentro de 30 millas del almacén, por lo general se aplicarán tarifas de porte local. Estas tarifas de entrega local se muestran para el almacén en la tabla 3. Para distancias mayores que 30 millas, puede desarrollarse una función lineal similar a la de las tarifas de entrada. Dado el tamaño promedio de los envíos desde los almacenes, de aproximadamente 1,000 libras, la función de la tarifa del almacén al cliente (A-C) es

$$\text{Tarifa A-C (\$/cwt.)} = 5.45 + 0.0037\,d$$

El cálculo de los costos totales de transportación de salida del almacén se realiza en la misma forma que para los costos de entrada.

COSTOS DE INVENTARIO

Los costos de inventario dependen del inventario promedio mantenido en el almacén y de los factores de las tarifas de inventario que aplican al nivel del inventario. Estos factores de tarifas incluyen el costo del capital, los impuestos sobre la propiedad y los costos de seguros. El inventario promedio en el almacén variará con la demanda del almacén y por el método utilizado para controlar el inventario. Se puede obtener una función matemática para expresar el inventario con base en el nivel de actividad anual del almacén mediante la gráfica del inventario promedio anual en función del nivel de actividad anual en cada punto activo de almacenamiento. La curva resultante se muestra en la figura 2. Sabiendo que la tarifa anual del costo de manejar el inventario es aproximadamente 12% del valor promedio de producto de $26 por cwt., el costo total de manejar el inventario en cada almacén estará dado por

$$IC_i = (0.12)(26)(11.3D_i^{0.58}) = 35.3D_i^{0.58}$$

donde

IC_i = costo anual de mantenimiento de inventario en el almacén i ($)
D_i = actividad de la demanda anual en el almacén i (cwt.)

[2] Por simplicidad, se muestra una relación acumulada. En la práctica, se utilizarían varias relaciones de este tipo para reflejar la diferencia de tarifas ocasionada por las ubicaciones geográficas de los puntos de origen de los envíos.

Tabla 3 Tarifas de los puntos de almacenamiento e información del tamaño del pedido

Alm. núm.	Almacenamiento ($/$)[a]	Manejo ($/cwt.)[b]	Procesamiento del pedido de almacén ($/pedido)	Tamaño del pedido de almacén (cwt./pedido)	Procesamiento del pedido del cliente ($/pedido)	Tamaño del pedido del cliente (cwt./pedido)	Tarifa de entrega local[c] ($/cwt.)
1	0.0672	0.46	18	400	1.79	9.05	1.90
2	0.0567	0.54	18	400	1.74	10.92	3.89
3	0.0755	0.38	18	400	2.71	11.59	2.02
4	0.0735	0.59	18	400	1.74	11.30	4.31
5	0.0946	0.50	18	401	0.83	9.31	1.89
6	0.1802	0.75	18	405	3.21	9.00	4.70
7	0.0946	0.74	18	405	1.23	8.37	1.55
8	0.2072	1.14	18	405	1.83	13.46	1.79
9	0.1802	1.62	18	409	4.83	9.69	4.92
10	0.1442	1.14	18	410	2.74	8.28	2.23
11	0.0946	1.04	18	409	3.93	10.20	1.81
12	0.1982	1.06	18	410	3.18	15.00	1.00
13	0.0766	1.06	18	400	1.08	9.07	1.63
14	0.1262	1.22	18	423	1.56	11.72	1.17
15	0.1126	0.82	18	426	1.20	9.35	1.73
16	0.0991	0.64	18	433	1.78	8.70	0.50
17	0.1577	0.71	18	394	5.33	8.07	1.46
18	0.1307	0.79	18	398	0.91	7.66	2.29
19	0.1487	1.15	18	399	2.08	9.39	2.20
20	0.2253	0.80	18	490	1.10	7.31	1.49
21	0.1370	1.39	18	655	1.70	9.31	2.72
22	0.0991	0.83	18	400	2.46	10.14	4.17
23	0.1260	0.59	18	110	2.33	5.07	2.37
24	0.0631	0.45	18	134	1.88	6.80	1.36
25	0.0946	1.68	18	341	2.58	6.83	2.21
26	0.1216	0.88	18	149	1.83	14.32	0.80
27	0.0721	0.55	18	198	1.83	7.38	3.88
28	0.1532	0.80	18	420	1.58	9.70	2.14
29	0.1172	1.04	18	287	0.78	7.52	1.51
30	0.1080	1.46	18	408	5.33	11.46	1.70
31	0.1487	0.95	18	340	1.36	10.48	1.63
32	0.1396	0.69	18	333	1.50	6.67	1.66
33	0.1126	0.64	18	277	2.33	11.98	1.54
34	0.1712	1.35	18	398	0.93	10.13	1.84
35	0.1261	0.79	18	434	2.08	6.81	1.58
36	0.1352	0.80	18	323	0.88	7.67	1.93
37	0.2704	0.96	18	423	0.89	8.57	3.08
38	0.2250	0.80	18	425	2.88	7.61	1.43
39	0.1487	1.49	18	400	1.46	7.55	6.44
40	0.2073	1.14	18	400	2.75	10.13	2.83

Alm. núm.	Almacenamiento ($/$)[a]	Manejo ($/cwt.)[b]	Procesamiento del pedido de almacén ($/pedido)	Tamaño del pedido de almacén (cwt./pedido)	Procesamiento del pedido del cliente ($/pedido)	Tamaño del pedido del cliente (cwt./pedido)	Tarifa de entrega local[c] ($/cwt.)
41	0.2073	1.14	18	400	2.75	10.13	2.83
42	0.1802	1.62	18	400	2.75	10.13	4.81
43	0.2613	1.39	18	400	2.71	11.59	3.89
44	0.1396	0.71	18	400	2.04	9.37	3.89
45	0.1036	0.55	18	400	2.75	10.13	1.74
46	0.0946	0.55	18	400	1.74	9.31	1.89
47	0.0682	0.64	18	400	1.78	8.70	0.50
48	0.0682	1.22	18	400	1.79	9.05	1.55

[a] Tarifa anual en $ por $ de inventario promedio en el almacén.
[b] Tarifa anualizada para desplazar 1 cwt. hacia adentro y hacia afuera del almacén.
[c] Una tarifa de transporte que se aplica a los envíos de los clientes dentro de 30 millas de un punto de almacenamiento.

COSTOS DE OPERACIÓN DEL ALMACÉN

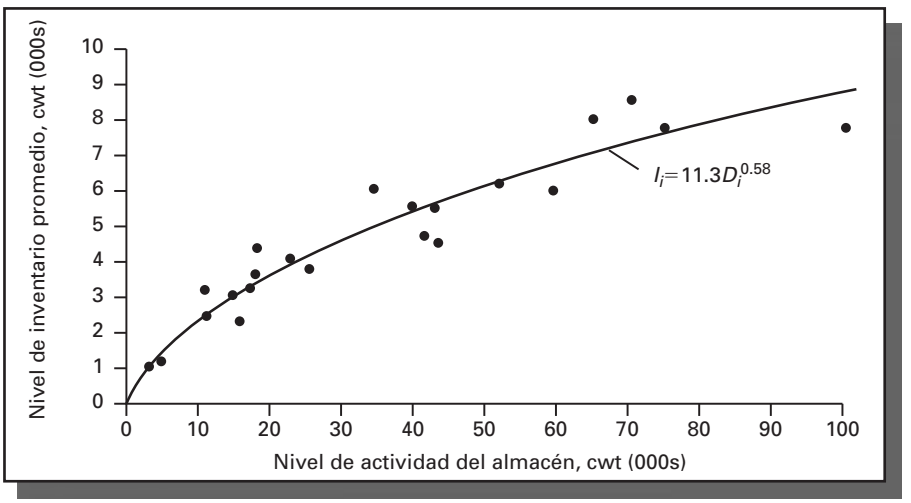
Los costos de operación del almacén se refieren a la combinación de los costos de almacenamiento y de manejo incurridos como resultado de la asignación de demanda a los almacenes. Los costos de almacenamiento se calculan al tomar la tarifa de almacenamiento y multiplicándola por un estimado del inventario promedio dentro del almacén. Matemáticamente esto puede expresarse como

$$SC_i = SR_i(26)(11.3D_i^{0.58})$$

donde

SC_i = costo anual de almacenar inventario en el almacén i ($)
SR_i = tarifa de almacenamiento del almacén i de la tabla 4
D_i = actividad de demanda anual en el almacén i (cwt.)

Figura 2 Rendimiento de inventario a almacén para la Usemore Soap Company.



Distancia del almacén al cliente	Porcentaje de demanda	Porcentaje acumulado de demanda	Demanda total (cwt.)
0–100 mi.	56.4%	56.4%	833,043
101–200	21.3	77.7	314,607
201–300	15.7	93.4	231,893
301–400	2.1	95.5	31,018
401–500	1.5	97.0	22,155
501–600	0.5	97.5	7,385
601–700	2.0	99.5	29,541
701–800	0.5	100.0	7,384
801–900	0.0	100.0	0
901–1000	0.0	100.0	0
> 1000	0.0	100.0	0
	100.0%		1,477,026

Tabla 4 Perfil comparativo del servicio al cliente

Los costos de manejo son estrictamente una función de la actividad del almacén. Están determinados por la tarifa de manejo multiplicada por el nivel de actividad, o

$$HC_i = (HR_i)D_i$$

donde

HC_i = costo anual de manejo en el almacén i ($)
HR_i = tarifa de manejo en el almacén i a según la tabla 4

COSTOS DE PROCESAMIENTO DE PEDIDOS

Los costos de procesamiento de pedidos se refieren a los cargos incurridos al manejar el papeleo relacionado con el reabastecimiento de inventario y los pedidos de los clientes. Ambos tipos de costos se calculan para cada almacén casi en la misma forma. Es decir, la tarifa de procesamiento de pedidos se multiplica por la demanda anual sobre el almacén y el resultado se divide entre el tamaño del pedido.

COSTOS TOTALES

Los costos totales para distintas configuraciones de distribución-producción se pueden determinar al sumar todos los costos relevantes. Para Usemore Soap Company, estos son los costos de producción; los costos de operación de almacén (almacenamiento, manejo, procesamiento de pedidos de inventario, y procesamiento de pedidos de clientes); los costos de transportación (de entrada al almacén, de salida del almacén y de entrega local); y los costos de mantenimiento de inventario. Al cambiar la cantidad y la ubicación de las plantas y almacenes se ocasionará un cambio en el balance de estos factores de costos. Por ejemplo, al añadir almacenes por lo general se reducirán los costos de transportación, pero se incrementarán los costos de inventario, así como se afectará el servicio al cliente. La evaluación de las ventajas y desventajas entre los costos y el servicio al cliente es el corazón de este tipo de problemas.

En las tablas 4 y 5 se muestra el resumen de los costos y del servicio al cliente para el diseño de red actual. Al día de hoy, Usemore Soap es capaz de colocar 93% de su demanda dentro de las 300 millas de distancia de sus almacenes para un costo total anual de $42'112,463.

ANÁLISIS APOYADO POR COMPUTADORA

Aunque se ha proporcionado suficiente información para llevar a cabo un análisis de forma manual, un programa de computadora (WARELOCA, un módulo en LOGWARE) acompaña este caso de estudio. Dada una combinación

Tabla 5
Perfil de costos para la red de distribución actual

Categoría de costo	Costo
Producción	$30'761,520
Operaciones del almacén	1,578,379
Procesamiento de pedido	369,027
Mantenimiento de inventario	457,290
Transportación:	
Entrada al almacén	2'050,367
Salida del almacén	6'895,880
Costo total	$42'112,463

particular de plantas, capacidades de planta, restricciones del servicio al cliente y almacenes, el programa asigna de manera óptima los centros de demanda a los almacenes y los almacenes a las plantas por medio de programación lineal. A partir de la lista seleccionada de almacenes, se elegirá el más económico si se encuentra disponible más de una opción dentro de la distancia definida a partir del centro de demanda. Si un almacén no puede encontrarse dentro de la distancia de servicio, se seleccionará el almacén más cercano al centro de demanda.

Sólo se utilizaron costos variables lineales en la asignación de centros de demanda a almacenes. Los costos de almacenamiento y de capital, los cuales no son lineales, no es utilizaron en el proceso de asignación. Éstos se incluyeron en los costos de sistema para una configuración particular. Los costos fijos no se incluyeron en la asignación ni se muestran en los costos totales del sistema. Deben añadirse externamente a los costos de sistema.

WARELOCA es un programa en el que usted proporciona las ubicaciones y capacidades de planta, las ubicaciones de almacenamiento, la distancia del servicio al cliente y los niveles de costos y de demanda. Cada corrida del programa representa una evaluación de una configuración particular de red. En la figura 3 se proporcionan los resultados de una corrida de ejemplo de WARELOCA en el que la red actual está *aproximada*[3] (no es la evaluación comparativa verdadera) donde están evaluados las cuatro plantas actuales y los 22 almacenes. ■

Figura 3 Resultados de WARELOCA para una corrida aproximada de comparación.

```
                    RESULTADOS DE WARELOCA

          RESUMEN DEL ANÁLISIS DE
      22 POSIBLES UBICACIONES DE ALMACÉN

              -COSTOS DEL SISTEMA-
Costos de producción           $30,761,518
Operaciones de almacén           1,515,395
Procesamiento de pedidos           357,343
Mantenimiento de inventario        447,282
Costos de transportación
  De entrada al almacén          2,354,017
  De salida del almacén          6,657,464
                                 ----------
         Costos totales        $42,093,020
```

[3] Las capacidades de planta se fijan en los niveles de producción actuales, el servicio al cliente se fija en 300 millas y los 22 almacenes actuales se seleccionan para evaluación.

Figura 3 (*cont.*)

PERFIL DEL SERVICIO AL CLIENTE PARA UNA DISTANCIA DESEADA DE 300 MILLAS

Dist. desde el almacén al cliente (millas)			Porcentaje de demanda	Dist. desde el almacén al cliente (millas)			Porcentaje de demanda
0	a	100	55.9	800	a	900	.0
100	a	200	18.2	900	a	1,000	.0
200	a	300	19.5	1,000	a	1,500	.0
300	a	400	1.8	1,500	a	2,000	.0
400	a	500	2.0	2,000	a	2,500	.0
500	a	600	.3	2,500	a	3,000	.0
600	a	700	2.0		>	3,000	.0
700	a	800	.4				
						Total	100.0

-CAPACIDAD Y COSTOS DE PLANTA-

Ubicación	Capacidad (cwt.)	Costos de producción
COVINGTON KY	595,102	12’497,142
NUEVA YORK NY	390,876	7’778,432
ARLINGTON TX	249,662	5’392,699
LONG BEACH CA	241,386	5’093,244
MEMPHIS TN	0	0
CHICAGO IL	0	0
Totales	1’477,026	30’761,518

Almacén núm.	Ubicación	-CAPACIDAD Y COSTOS DE ALMACÉN- Capacidad (cwt.)	Almacenes total, $	Almacena-miento	Manejo	Capital
1	COVINGTON KY P	236,640	180,853	25,845	108,854	46,153
2	NUEVA YORK NY P	228,067	189,677	21,345	123,156	45,176
3	ARLINGTON TX P	104,081	86,246	18,033	39,550	28,662
4	LONG BEACH CA P	106,047	109,288	17,747	62,567	28,974
5	ATLANTA GA	46,949	55,775	14,239	23,474	18,062
6	BOSTON MA	49,350	83,524	27,919	37,012	18,592
7	BUFFALO NY	28,342	45,076	10,625	20,973	13,478
8	CHICAGO IL	87,860	170,997	44,858	100,160	25,979
9	CLEVELAND OH	0	0	0	0	0
10	DAVENPORT IA	13,068	33,837	10,337	14,897	8,602
11	DETROIT MI	82,999	131,269	19,815	86,318	25,135
12	GRD RAPIDS MI	17,330	45,238	16,736	18,369	10,132
13	GREENSBORO NC	31,832	57,362	9,203	33,741	14,417
14	KANSAS CITY KS	73,416	137,595	24,618	89,567	23,409
15	BALTIMORE MD	38,128	62,294	15,021	31,264	16,008
16	MEMPHIS TN	67,480	83,888	18,409	43,187	22,292
17	MILWAUKEE WI	28,121	51,015	17,632	19,965	13,417
18	ORLANDO FL	44,523	71,765	19,076	35,173	17,515
19	PITTSBURGH PA	21,553	50,534	14,249	24,785	11,499
20	PORTLAND OR	74,280	127,242	44,250	59,424	23,568
21	W SACRAMENTO CA	65,744	137,256	23,915	91,384	21,957
22	W CHESTER PA	31,216	51,936	11,772	25,909	14,255
	Totales	1’477,026	1’962,667	425,655	1’089,739	447,282

Almacén núm.	Ubicación	Procesamiento de pedidos	Costos de transportacion De entrada	De salida
1	COVINGTON KY P	57,453	0	1’166,502
2	NUEVA YORK NY P	46,603	210,610	1’135,465
3	ARLINGTON TX P	29,020	96,128	511,022
4	LONG BEACH CA P	21,101	97,942	528,650
5	ATLANTA GA	6,293	112,810	212,015
6	BOSTON MA	19,794	82,324	261,289
7	BUFFALO NY	5,424	59,064	72,647
8	CHICAGO IL	15,850	168,091	276,774
9	CLEVELAND OH	0	0	0
10	DAVENPORT IA	4,898	30,896	74,424
11	DETROIT MI	35,631	154,332	173,983
12	GRD RAPIDS MI	4,434	34,705	46,545
13	GREENSBORO NC	5,222	71,933	129,723
14	KANSAS CITY KS	12,896	196,711	381,234
15	BALTIMORE MD	6,504	60,638	152,684
16	MEMPHIS TN	16,611	174,640	344,308
17	MILWAUKEE WI	19,857	62,954	42,548
18	ORLANDO FL	7,302	174,726	236,580
19	PITTSBURGH PA	5,746	45,302	47,416
20	PORTLAND OR	13,906	325,989	343,276
21	W SACRAMENTO CA	13,811	153,326	379,100
22	W CHESTER PA	8,977	40,887	141,269
	Totales	357,343	2’354,017	6’657,465

Essen USA

Essen es una compañía alemana de caramelos que fabrica y distribuye chocolates y otros tipos de dulces en Europa y Estados Unidos. Para el mercado estadounidense, los caramelos se fabrican en Essen, Alemania, y se envían a través del puerto de Amsterdam, en Holanda. El producto ingresa a Estados Unidos por el puerto de New Jersey y se deposita en un almacén en Edison, New Jersey. A partir de este almacén central, el producto se redistribuye a los almacenes (existen varios de ellos) de las compañías que lo adquieren, que a su vez lo envían a sus tiendas de menudeo (existen varias de éstas). Estos compradores por lo general son grandes minoristas, como Wal-Mart, Walgreens y Giant Eagle, así como muchos otros pequeños minoristas que compran a través de distribuidores. El canal de suministros de Essen se muestra en la figura 1. El costo de distribución y el servicio al cliente de Essen son afectados por el flujo del producto a través del canal completo de distribución. Aunque Essen controla directamente sólo una parte de la cadena de suministros, una buena planeación de la cadena completa de suministros podría beneficiar a Essen, a sus compradores y por último a los clientes. Essen podría ser capaz de influir en sus clientes mediante descuentos de precio-cantidad u otros incentivos, si pudiera estimar el efecto que éstos tendrían sobre sus miembros inferiores del canal.

VENTAS

Essen tenía ventas anuales a sus clientes (nivel 2) cercanas a $80 millones en Estados Unidos sobre 36 millones de libras de caramelos. Las ventas al menudeo (nivel 1) fueron alrededor de $104 millones. Esto es un precio promedio de $2.22

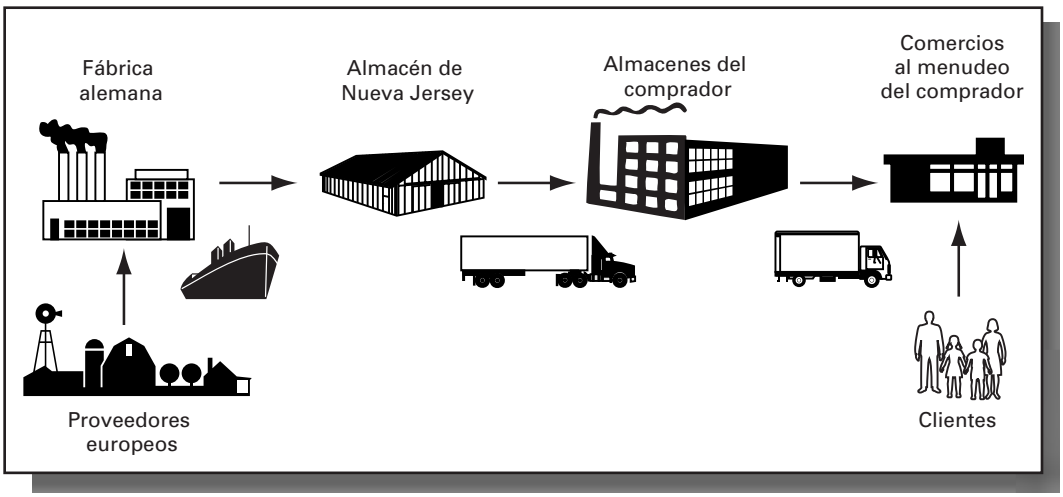


Figura 1 Canal de suministros de Essen.

por lb para los clientes de Essen, quien le añade 30% de margen para un precio promedio a los consumidores finales de $2.89 por libra. Un muestreo de la información de las ventas señala que las ventas diarias promedian 100 mil libras con una desviación estándar de 15 mil libras. Las ventas varían de acuerdo con un patrón de distribución normal. Existe cierto incremento en la demanda de los clientes alrededor de los periodos festivos (San Valentín, Pascua, Acción de gracias y Navidad) con ventas por debajo del promedio en los meses de otoño e invierno. Los meses de verano tienen ventas ligeramente por debajo del promedio. Los índices típicos estacionales son los siguientes:

Mes	Índice	Mes	Índice	Mes	Índice	Mes	Índice
Ene.	0.25	Abr.	0.75	Jul.	0.75	Oct.	0.75
Feb.	1.25	May.	0.75	Ago.	0.75	Nov.	1.50
Mar.	1.25	Jun.	0.75	Sep.	0.75	Dic.	2.50

El crecimiento de las ventas ha sido modesto, cerca de 1% por año.

COMERCIOS AL MENUDEO/NIVEL 1

Los detallistas (nivel 1) en el canal reabastecen sus anaqueles sobre una base semanal. La demanda se pronostica a partir de las ventas promediando los últimos siete días de ventas (promedio móvil a siete días). La política de control de inventarios es almacenar para la demanda. Es decir, la cantidad de inventario en los anaqueles se revisa cada siete días y se utiliza un nivel meta de inventario de diez días para propósitos de control. Se determinaron diez días de demanda a partir de la frecuencia de revisión de los niveles de inventario, el riesgo de que se agotara, y la experiencia en proporcionar adecuados niveles de inventario.

El valor aproximado de 1,000 lbs de producto en inventario es $2,220. El costo de mantenimiento de inventario se establece nominalmente a 25% del valor de los artículos por año. El costo de atender los pedidos de los clientes es resultado de dividir los gastos generales y la mano de obra de la tienda entre las unidades vendidas. Para una sola línea de productos como caramelos, no son más de $1 por 1,000 lbs. Por otro lado, los costos de preparación de la orden de compra para el detallista incluyen el llenado de formas, la transmisión del pedido, y verificacio-

nes varias. Un costo de $35 por pedido es razonable.

El tiempo para surtir un pedido de caramelos por parte del cliente se establece nominalmente en un tiempo mínimo de un día sin variación. Esto toma en cuenta el tiempo que el cliente conduce a la tienda, selecciona el producto, lo paga y regresa a casa.

Un producto como éste generalmente nunca está en pedido pendiente cuando se presenta una situación de falta de existencias. En cambio, las ventas se pierden. Por ello, el producto se almacena con una alta tasa de disponibilidad (98%). Los costos de pedidos pendientes se establecen en 0.67 por mil libras para representar el efecto de pérdida de la venta.[1]

ALMACENES/NIVEL 2

Essen suministra a varios de los almacenes de sus clientes. Es común que estos almacenes pronostiquen su volumen de actividad con base en un promedio móvil a 30 días. Los niveles de inventario normalmente son revisados cada 30 días y se utiliza un nivel meta de ventas de 45 días para reabastecer los inventarios. Se desea un nivel de atención de 95 por ciento.

El costo de atender el pedido de un detallista desde inventarios de almacén se estima en $20 por cada 1,000 libras, lo que incluye cierta verificación del inventario, validación del crédito, transmisión de la información y algunos gastos generales. Los pedidos de las tiendas de menudeo pueden procesarse en dos días con una desviación estándar de 0.2 días. El costo de preparar y transmitir las órdenes de compra para un reabastecimiento del inventario de almacén es de $75 por pedido.

El costo de mantenimiento de inventario es de 25% del valor del inventario, el cual se estima en $2,200 por cada 1,000 libras. Los pedidos que no pueden atenderse desde el inventario disponible se manejan como pedidos pendientes a un costo de $100 por cada 1,000 lbs.

ALMACÉN DE NUEVA JERSEY DE ESSEN/NIVEL 3

El almacén en Nueva Jersey es el punto de importación y redistribución de los productos de Essen en Estados Unidos. Despacha la línea completa de productos de golosinas a los almacenes de todos sus clientes desde aquí. Los requerimientos generales se pronostican utilizando un promedio móvil de 360 días, incluso aunque existe un importante patrón de estacionalidad hacia finales del año de calendario. El inventario se planea sobre una base acumulada (todos los productos combinados) con un tipo de política de almacenar para demanda. La revisión y el pronóstico del inventario ocurre cada 30 días y la cantidad objetivo son las ventas de 90 días. Se prefiere mantener altos niveles de inventario debido a la necesidad de una adecuada disponibilidad de inventario para los clientes a los largos tiempos de espera que son resultado de la distante fuente de suministro. Mil libras de producto mantenido en inventario se valúan en $1,710 al costo. La compañía utiliza un cargo de mantenimiento de inventario anual de 20%. Se busca una probabilidad de 95% de encontrarse con inventarios adecuados (nivel de atención). El promedio del tamaño de los pedidos de los clientes es de 5,000 libras.

La preparación de una orden de compra en la fábrica se estima que promedia $75 por pedido. El costo de procesar el pedido de un comprador es de $15 por 1,000 libras. El tiempo para atender el pedido de un distribuidor son tres días, con una desviación estándar de 0.3 días. Todos los pedidos no cumplidos de los clientes se mantienen en espera a un costo estimado por el manejo extra de $25 por cada 1,000 lbs.

FÁBRICA/ORIGEN

La fábrica adquiere en Europa los materiales para los productos de golosinas a un costo promedio de U.S. $1,000 por cada 1,000 libras. El tamaño del lote promedio a través de todos los artículos de las líneas de productos es de 1,000 libras. El costo de producción incluyendo los gastos generales es de aproximadamente $850 por cada 1,000 libras. El tiempo de producción desde que un pedido se recibe, se revisa, se mantiene hasta su mejor momento en el programa de producción, y se procesa, es de ocho días, con una desviación estándar de dos días. Sin

[1] Esta es la utilidad estimada obtenida sobre una libra de producto, o $2.89 – 2.22 = $0.67 por libra.

embargo, si se producen mayores tamaños de lotes de 20,000 libras, el costo de producción puede reducirse a $825 por cada 1,000 libras. Entonces el tiempo de producción se amplía a 10 días, con una desviación estándar de 2.1 días.

El costo de atender un pedido de almacén, debido principalmente a la preparación del pedido para su envío, es de $10 por cada 1,000 libras.

TRANSPORTACIÓN

Transporte entre la fábrica y el almacén de Nueva Jersey. Los caramelos se envían en contenedores por transporte marítimo desde la fábrica de Essen hacia el almacén de Nueva Jersey. En ocasiones se requiere transporte refrigerado para los meses de verano, cuando las altas temperaturas esperadas podrían derretir los chocolates. Los costos de transporte son aproximadamente de $78 por cada 1,000 libras y el tiempo de tránsito promedia nueve días, con una desviación estándar de tres días.

Alternativamente, los pedidos de almacén pueden enviarse por vía aérea a Estados Unidos por $1,833 por 1,000 libras, con un tiempo promedio de tránsito de un día, con una desviación estándar de 0.2 días.

Transporte desde el almacén de Nueva Jersey hasta los almacenes de detallistas. Los envíos se realizan desde el almacén de Nueva Jersey por transporte terrestre con carga inferior a un camión completo, aunque los transportistas frecuentemente utilizan puntos de acumulación para formar desplazamientos de carga de camión completo sobre distancias mayores. El transporte promedia 1,000 millas para un costo de $70 por cada 1,000 libras. El tiempo de tránsito para estas entregas de 1,000 millas promedia cinco días, con una desviación estándar de un día.

Transporte desde los almacenes de detallistas hacia las tiendas de menudeo. Los envíos desde los almacenes de detallistas hacia múltiples tiendas de menudeo típicamente combinan numerosos productos destinados para más de una tienda sobre una misma ruta de camión. La proporción de la entrega relacionada sólo con los productos de golosinas se estima en un costo de $25 por cada 1,000 libras. El tiempo de tránsito es alrededor de un día sin variabilidad apreciable. ■

PREGUNTAS

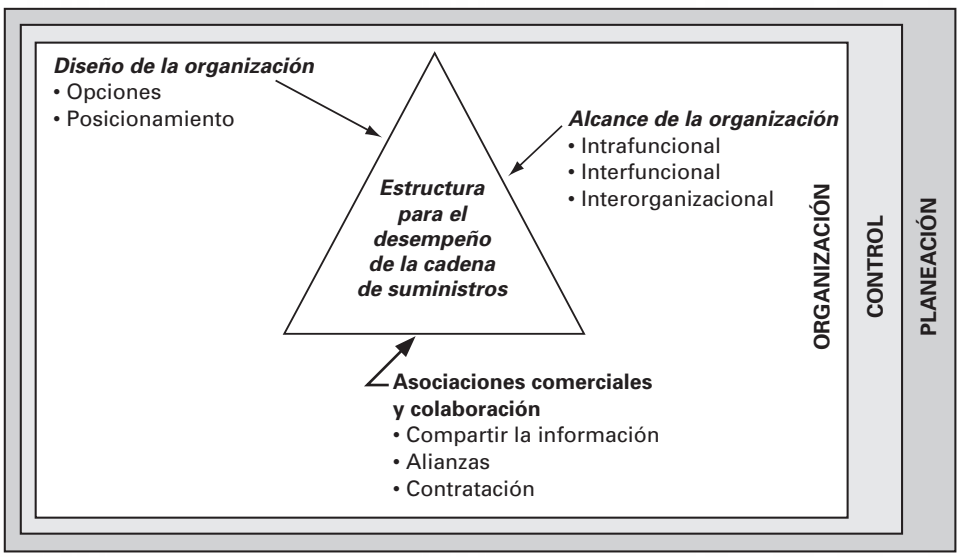
1. ¿Qué puede decir acerca del desempeño logístico a lo largo del canal de suministros para Essen y sus clientes?
2. ¿Qué pasos sugeriría tomar para mejorar el desempeño logístico a largo del canal? ¿Alguno de los cambios involucra a Essen? Si es así, ¿la compañía obtiene directamente alguna mejora del desempeño operativo o en costos?
3. ¿El envío aéreo desde Alemania sería benéfico para el desempeño del canal? ¿Para Essen?
4. ¿Existe algún beneficio de producir en el lote mayor de 20,000 libras?
5. Si los miembros del canal diferentes a Essen tienen la llave para un buen desempeño de todo el canal y de un mejor desempeño para Essen, ¿cómo podría Essen alentarlos para que cooperen?

Capítulo 15

Organización de la logística y de la cadena de suministros

De la misma manera que una buena constitución no garantiza grandes presidentes, buenas leyes, o una sociedad moral, la buena estructura de una organización no produce por sí misma un buen desempeño. Pero una mala estructura de organización hace imposible un buen desempeño, sin importar qué tan buenos puedan ser los directores. Por lo tanto, mejorar la estructura de la organización... siempre mejorará el desempeño.[1]

—PETER F. DRUCKER



[1] Peter F. Drucker, *The Practice of Management* (Nueva York: Harper & Row, 1954), pág. 225.

La organización administrativa es la estructura que facilita la creación, la puesta en práctica y la evaluación de los planes. Es el mecanismo formal o informal para distribuir los recursos humanos de tal manera que una empresa alcance sus metas. La organización puede aparecer como un organigrama formalizado de relaciones funcionales, como un conjunto invisible de relaciones comprendidas por los miembros de una empresa pero no declarados de ninguna manera formal, o como una combinación de ambos. Cualquiera que sea el caso, intentar establecer las relaciones humanas de manera óptima es, probablemente, la tarea más difícil de una empresa. No existe ningún algoritmo preciso para hacerlo. Lo más que podemos esperar son algunas líneas directrices que puedan ser útiles a la hora de establecer ciertas estructuras de organización aceptables.

Este capítulo se enfoca específicamente a la estructura organizacional requerida para el manejo de la función logística del negocio. El contenido se divide en cuatro partes. La primera consiste en la organización del esfuerzo de la logística. Se centra en *por qué* es necesaria la organización de la logística y la cadena de suministros. La segunda parte son las opciones disponibles para el manejo. Éstas varían de formas de organización formales a informales, así como el lugar que ocupa la forma organizacional dentro de la estructura de la organización de la compañía. La tercera parte se ocupa del manejo de la logística a través de las diferentes organizaciones. Finalmente, observaremos las alternativas de la estructura organizacional que tienen el propósito de operar un canal de suministros, es decir, la contratación a terceros de algunos o todos los esfuerzos logísticos mediante alianzas estratégicas, asociaciones, terceros proveedores de la logística y de la cadena de suministros y acuerdos de colaboración.

Esfuerzo de organización de la logística y de la cadena de suministros

Colocar en la empresa a las personas responsables de las actividades logísticas, de manera que se favorezca la coordinación entre ellas, es el problema más importante en la organización de la logística y la cadena de suministros. Dichas disposiciones en la organización promueven la eficiencia en el suministro y en la distribución de bienes y servicios mediante el estímulo de la compensación de costos, que a menudo se encuentra al planear y operar el sistema de la logística.

Necesidad de una estructura en la organización

La logística y la cadena de suministros es una actividad vital que virtualmente todo tipo de empresa o institución debe llevar a cabo. Esto implica que se tendrá que hacer algún tipo de arreglo en la organización, de manera formal o informal, para manejar el movimiento de los productos y servicios. Entonces, ¿cuál es la necesidad de alguna consideración específica en la estructura de la organización?

Fragmentación organizacional

Una forma tradicional de organización que muchos han adoptado (como se muestra en la figura 15-1) es la agrupación de las actividades alrededor de las tres funciones fundamen-

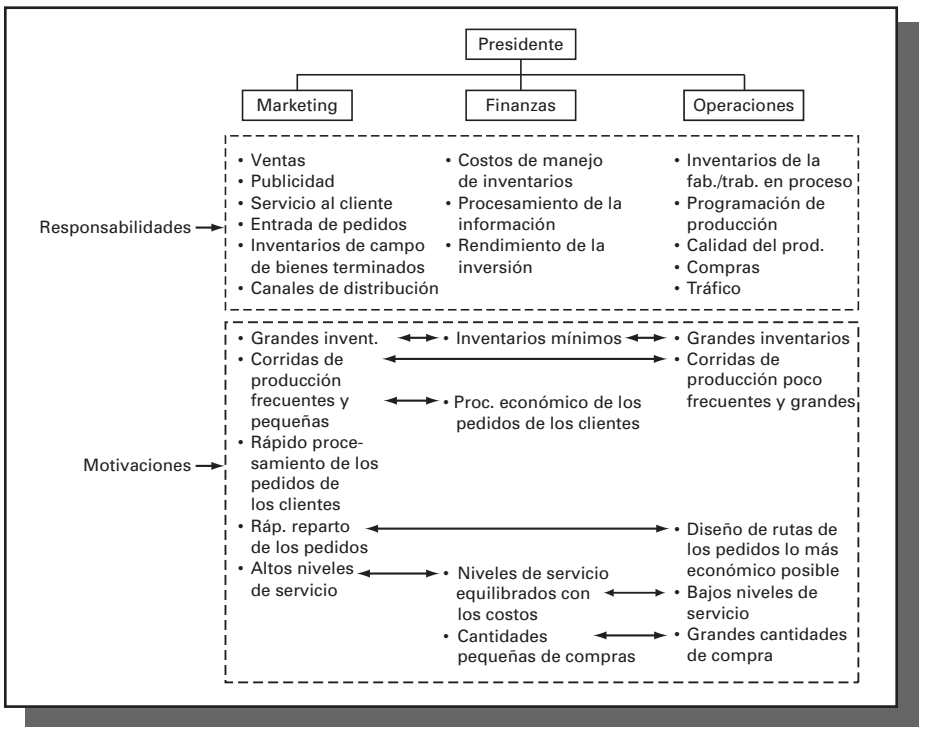


Figura 15-1 Organización de una típica empresa manufacturera en cuanto a las actividades de la logística y la cadena de suministros.

tales de finanzas, operaciones y marketing. Desde el punto de vista de la logística, este arreglo ha provocado una fragmentación de las actividades de la logística entre estas tres áreas, cuyas funciones principales son algo diferentes a las de la logística. Esto es, la responsabilidad de la transportación debe colocarse bajo operaciones, el inventario dividirse entre las tres funciones y el procesamiento de pedidos colocarse bajo marketing o finanzas. No obstante, la responsabilidad principal de marketing puede ser maximizar beneficios; la de operaciones, producir al menor costo unitario, y la de finanzas, minimizar los costos de capital o maximizar el rendimiento de la inversión de la empresa. Estos propósitos motivacionales cruzados llevaron a que, hace algunos años, un ejecutivo observara sabiamente:

> Si se les permitiera trabajar libres, un vendedor y su gerente prometerían a su cliente un servicio de entrega desde una fábrica o un centro de distribución que sería imposible de cumplir. Por otra parte, si al gerente de producción lo dejaran, solicitaría que todos los pedidos se acumularan durante largo tiempo para reducir los costos de ejecución, y permitir más tiempo para planear cantidades económicas de procuración de materiales.[2]

Esta rivalidad de propósitos puede provocar un sistema de operación logística que esté por debajo de lo óptimo: tanto es así, que puede afectar al rendimiento de la empresa en su

[2] Kenneth Marshall, "Bruning: Another Way to Organize Physical Distribution Management", *Handing & Shipping* (noviembre de 1966), págs. 61-66.

conjunto. Por ejemplo, marketing puede desear entregas rápidas para apoyar las ventas, en tanto que manufactura, si tiene la responsabilidad del tráfico, puede desear el diseño de rutas de menor costo. A menos que se tomen los pasos necesarios para lograr un compromiso entre todas las líneas funcionales, es probable que no se cumpla el equilibrio más ventajoso entre servicios y costos de logística. Se necesita de alguna estructura organizativa que ayude a la coordinación de la toma de decisiones referentes a diversas actividades de la logística.

Observación

Un fabricante de productos de papel se encontró con el clásico conflicto entre ventas y producción por motivos logísticos. Esta compañía producía y vendía una variedad de productos de papel kraft, del que se usa para fabricar bolsas de comestibles, empaques y envolturas comerciales, y pañuelos higiénicos y servilletas. Las ventas se generaban a menudo en grandes cantidades de pedidos que incluían, para un cliente, hasta 30 carros llenos. A nivel de su organización, la compañía se orientaba alrededor de las tareas de marketing y producción.

Debido a la falta de coordinación entre marketing y producción, normalmente los vendedores prometían a los clientes la entrega cuando éstos la querían, con poca consideración hacia los programas de producción. Si las fechas importantes de entrega no se cumplían, ventas presionaba a producción para la terminación del pedido. La filosofía era sencilla: "Exprima la uva lo suficientemente fuerte y la semilla saltará."

Por otra parte, a menudo producción se veía presionada por los pedidos que recibía en su propio lugar después de la fecha prometida de entrega, y por los frecuentes cambios en los programas de producción que provocaban costosas puestas en marchas de las máquinas y mayores retrasos en algunos de los pedidos menos urgentes.

La mala coordinación entre la demanda y el suministro estaba causando un creciente número de quejas y amenazas de los clientes de buscar otras fuentes de suministros.

Dirección

Suministrar alguna estructura organizativa a las actividades de la logística y la cadena de suministros también marca las líneas necesarias de autoridad y responsabilidad para asegurar que los bienes se mueven según lo planeado y que se lleva a cabo una nueva planeación cuando se necesita. Si el equilibrio entre el servicio al cliente y los costos para producir dicho servicio son críticos para la operación de una empresa en particular, debería colocarse a alguien responsable de vigilar el movimiento de los productos. En efecto, alguien tiene que manejar la logística. Aunque algunas áreas, como procesamiento de pedidos, tráfico y almacenamiento, pueden supervisarse individualmente para su buen control, a menudo se requiere de un director para coordinar sus operaciones combinadas. Sólo un director tiene la capacidad de equilibrar estas operaciones para lograr el mayor nivel de eficiencia.

Importancia de la organización para la logística y la cadena de suministros

La atención que pueda darse a la organización logística y a la disposición organizacional depende de la naturaleza de la logística y la cadena de suministros de cada empresa en particular. Aunque cada empresa o institución lleva a cabo operaciones de logística y de la cadena de suministros en algún grado, los temas de la logística no son de la misma importancia para todas ellas. Cuando una empresa gasta una pequeña fracción de sus costos

totales de operación en la logística, o cuando los niveles logísticos del servicio al cliente no son de gran importancia para los clientes, es poco probable que se dé a la logística alguna atención organizacional en especial. Sin embargo, para muchas empresas de productos para el consumidor, de alimentos y de productos químicos, en las cuales los costos de logística pueden promediar 25% o más de sus ventas (en dólares), sucede lo contrario.

Además, la necesidad de un tipo dado de organización depende de *cómo* se incurra en los costos de logística y en *dónde* están las mayores necesidades de servicio. La forma organizacional puede centrarse en la administración de materiales, la distribución física o la cadena de suministros. Consideremos cómo varía la necesidad de organización entre los diversos tipos de industrias.

Las industrias de extracción se caracterizan por ser empresas que producen materias primas básicas, sobre todo para ser usadas por otras industrias. Ejemplos de dichas empresas son las que se ocupan de la extracción de madera, minería y agricultura. Las operaciones logísticas incluyen asegurar una diversidad de bienes necesarios en las operaciones de extracción. Equipos fundamentales y suministros para las operaciones son típicos de dichas compras. La compra y la transportación son las actividades principales de la logística del lado de la oferta. Por lo general, los productos de salida son de una variedad limitada, de relativamente poco valor y son enviados a granel o en grandes volúmenes. La preocupación principal es el control de los envíos en términos de selección de modalidad, diseño de rutas y utilización de los equipos. Por lo tanto, es probable que las empresas de estas industrias tengan departamentos muy visibles de administración de los materiales.

Las industrias de servicios se preocupan principalmente de las actividades de logística del lado de la oferta. Las empresas de esta industria convierten los suministros tangibles en ofertas de servicio. Los hospitales, las compañías de seguros y las de transportación son buenos ejemplos de empresas de servicios. Compran una variedad de artículos, muchos de los cuales son básicos, a proveedores que están dispersos geográficamente. Estos artículos se consumen en total al producir el servicio. Compras y manejo de inventarios son las actividades logísticas principales que tienen que administrar, con un poco menos de interés en la transportación, dado que muchos de los suministros se reciben bajo un acuerdo de fijación de precios, que incluye el reparto. Los costos de la logística pueden ser importantes para dichas empresas, pero las actividades asociadas tienen lugar en el lado de la oferta de la empresa. La organización de la logística se centra en el manejo de materiales, por lo general con poco reconocimiento a cualquier actividad de distribución física.

Las industrias de marketing se caracterizan por ser empresas que compran bienes, sobre todo para su reventa. Los miembros típicos de esta industria son los distribuidores y los minoristas. Las empresas de esta industria hacen poco por cambiar la forma del producto. Sus mayores preocupaciones se refieren a las actividades de venta y logística. Por lo general, dichas empresas compran muchos artículos a muchos proveedores que están geográficamente dispersos. Estos artículos se revenden en diferentes combinaciones y en pequeñas cantidades, normalmente dentro de un área geográfica limitada. Las operaciones se caracterizan por la compra, tráfico de entrada, control de inventarios, almacenamiento, recolección de pedidos y envíos. La organización para el manejo de la logística es importante, y por lo general implicará tanto a las actividades de manejo de materiales como a las de distribución física; sin embargo, es probable que se dé mayor énfasis al hecho de tener una fuerte organización de distribución física, dado que los proveedores fijan los precios de muchos de los suministros de entrada en base a los repartos.

Las industrias manufactureras se caracterizan por ser empresas que compran una gran variedad de artículos a muchos proveedores para transformarlos en artículos de valor relativamente alto. Hay una actividad logística sustancial, tanto en el lado del suministro como en el de la distribución de estas empresas. El diseño de la organización incluye tanto la administración de materiales como la distribución física.

Desarrollo organizacional

La filosofía sobre lo que es un buen manejo de la logística y la cadena de suministros, y del diseño organizacional resultante, ha ido evolucionando con los años. Bowersox y Daugherty han señalado tres etapas distintas de desarrollo.[3] La etapa I, que pudo observarse a principios del decenio de 1970, representó un agrupamiento de las actividades que eran importantes para alcanzar las compensaciones de costos inherentes a la administración de la logística. Las actividades de transportación se administraban en concierto con las actividades de inventario y procesamiento de pedidos, con el fin de lograr los objetivos de costos de la distribución física y del servicio. Las compras, la transportación de entrada y los inventarios de materias primas se unían, para su coordinación, bajo una forma única de organización. El reconocimiento de las actividades relevantes de la distribución física y del suministro físico, y la necesidad de su cuidadosa coordinación ya estaban ahí a principios de ese decenio, pero las estructuras organizacionales eran bastante débiles. Muchas empresas confiaban en los acuerdos informales, como la persuasión, y en los coordinadores de personal para equilibrar los intereses entre las áreas de actividad. Dado que el cambio del diseño organizacional parece ser más un proceso de evolución que de revolución, los primeros intentos de organización logística se llevaron a cabo sin cambio radical en la estructura organizacional "en el lugar".

En la etapa II, la organización estaba dirigida hacia estructuras formales, en las que se colocaba a un ejecutivo de alto nivel a cargo de las actividades logísticas relevantes, normalmente las de suministro físico o distribución física, pero no ambas. Esto daba un control directo sobre la coordinación de las actividades logísticas. Este fue un paso evolutivo, en cuanto a que los beneficios de una buena administración logística llegaron a ser mejor entendidos y apreciados entre las empresas. Compañías como Kodak y Whirlpool fueron los primeros líderes de este tipo de estructura formalizada. Sin embargo, en 1985, empresas más grandes (42%) permanecían en la etapa I[4] o habían pasado a la etapa III (20%).

En la etapa III, la estructura de la organización se refería a la total integración de las actividades de la logística, alcanzando tanto al suministro físico como a la distribución física. La integración total de las actividades de la logística, y de la estructura organizacional con el propósito de coordinarlas se volvieron más populares. La integración total fue dirigida por la filosofía de los sistemas justo a tiempo, la respuesta rápida y la reducción de tiempo, que requerían una coordinación precisa entre todas las actividades de toda la empresa. Además, los activos compartidos (como la flota de camiones o los almacenes) que eran usados tanto en actividades de suministro físico como de distribución física, también requerían de una cuidadosa coordinación para alcanzar su máxima utilización.

[3] Donald J. Bowersox y Patricia J. Daugherty, "Emerging Patterns of Logistical Organization", *Journal of Business Logistics*, Vol. 8, Núm. 1 (1987), págs. 46-60.
[4] A. T. Kearney, *Emerging Top Management Focus for the 1980s* (Chicago: Kearney Management Consultants, 1985).

Ejemplo

Micro-Kits vendía uno de sus productos (cajas de herramientas portátiles para reparaciones de equipos de computadora) en tres canales de mercado: 1) tiendas minoristas; 2) clientes por catálogo, y 3) clientes mayoristas. Compraba los componentes a sus proveedores y los enviaba a una planta para su ensamblaje. Los bienes terminados se enviaban a un centro de distribución, desde el cual se levantaban los pedidos de venta. Se propuso un sistema "justo a tiempo" que pudiera mejorar, principalmente, el desempeño de la operación en el canal físico de suministros y en la producción.

Todo el canal de logística y de producción fue modelado usando simulación por computadora. Los resultados mostraron que el sistema justo a tiempo provocaría una mejora sustancial comparada con las actuales operaciones. Es decir, el margen de utilidad se incrementaría 106%, el coeficiente de rotación de inventarios aumentaría 7.2 a 7.8:1, y el tiempo intermedio desde que se recibiese un pedido hasta que fuese entregado se reduciría de 24.2 a 13.7 días.

Sin embargo, a esta idea le faltaba perspicacia. Era posible una mayor mejora planificando todo el canal de modo integrado, en el que la distribución física y el suministro físico fueran planeados conjuntamente. Los márgenes de beneficio se podrían incrementar en 6% adicional, el coeficiente de rotación de inventarios de 7.8 a 16.3:1, y el tiempo de entrega del canal se podría reducir de 13.7 a 8.9 días.

Este tipo de beneficio resultante de la planeación integrada es el que también está llevando a la estructura de la organización a cubrir ambas actividades, tanto del suministro físico como de la distribución física.[5]

En la actualidad nos referimos a la etapa IV como la del manejo de la cadena de suministros, o logística integrada. Esto implica la total integración de las actividades logísticas de la etapa III, pero incluye las actividades logísticas dentro de los procesos de transformación de los productos (producción). Es decir, las compañías en la etapa IV de su desarrollo organizacional verán la logística como el conjunto de todas las actividades que tienen lugar desde los orígenes de su materia prima, pasando por la producción y terminando en el consumidor final. La diferencia importante entre la etapa III y la IV es que las actividades del proceso de transformación del producto (como programación del producto, manejo del inventario de trabajo en proceso, y coordinación de la programación del sistema justo a tiempo de entradas y de salidas) se incluyen ahora en el radio de acción de la logística integrada.

Puede visualizarse una etapa V donde las actividades de logística se administrarán *entre* compañías del canal de suministros que sean entidades legales separadas. Hasta este punto, la atención de manejo se ha enfocado principalmente a las actividades de logística que están dentro del control y responsabilidad inmediatos de la empresa. Administrar esta superorganización traerá nuevos retos, pero también nuevas oportunidades para la eficiencia, aún no medidas por las actuales estructuras y pensamientos organizacionales.

Opciones organizacionales

Cuando se ha establecido la necesidad de algún tipo de estructura organizacional, hay diversas opciones básicas entre las que una empresa puede elegir. Estas pueden clasificarse

[5] Robert Sloan, "Integrated Tools for Managing the Total Pipeline", *Annual Conference Proceedings,* Vol. II (St. Louis: Council of Logistics Management, 1989), págs. 93-108.

como de tipo informal, semiformal y formal. Ningún tipo es dominante. La elección organizacional de una empresa en particular con frecuencia es resultado de las fuerzas evolutivas que operan dentro de la empresa. Es decir, la forma logística organizacional a menudo es sensible a las personalidades particulares que hay dentro de la empresa, a las tradiciones referentes a la organización y a la importancia de las actividades de la logística.

La organización informal

El objetivo principal de la organización de la logística y la cadena de suministros es lograr la coordinación entre las actividades de la logística para su planeación y control. Si hay un clima de apoyo dentro de una empresa, esta coordinación puede lograrse con una serie de maneras informales. Éstas por lo general no requieren cambio en la estructura organizacional existente, sino que confían en la coacción o la persuasión para alcanzar la coordinación entre las actividades y la cooperación entre aquellos que son responsables de las mismas.

Para las empresas que han diseñado áreas separadas de responsabilidad para actividades clave, como transportación, control de inventarios y procesamiento de pedidos, puede crearse a veces un sistema de incentivos para coordinarlas. Aunque el presupuesto, que es un instrumento de control importante para muchas empresas, a menudo es una pérdida de incentivo para la coordinación, puede convertirse a veces en un mecanismo para la coordinación efectiva. El presupuesto puede ser una pérdida de estímulo porque un gerente de transportación, por ejemplo, hallaría irrazonable incurrir en costos de transportación más altos de lo necesario para conseguir costos de inventario más bajos. Los costos de inventario no caen dentro de la responsabilidad de presupuesto del gerente de transportación. El desempeño del gerente de transportación se mide comparando los costos de transportación con el presupuesto.

Un posible sistema de incentivos para animar la cooperación en el cruce de actividades es establecer un número de cargos cruzados o costos de transferencia entre las diversas actividades de la logística. Consideremos cómo podría tomarse una decisión respecto de una selección de transportación cuando afecta de manera indirecta a los niveles de inventario, pero quien toma la decisión no tiene otra motivación más que buscar los costos de transportación más bajos posibles.

Ejemplo

Supongamos que el gerente de inventarios de una empresa tiene que permitir niveles de inventario más altos de los deseados para acomodar un medio de transportación, más barato pero más lento, resultante de enviar en mayores cantidades. En el punto en el que los costos de inventario se incrementen por encima de los niveles deseados de inventario (estrictamente determinados por los objetivos del inventario), los costos de incremento en los que se incurra por encima de este nivel se cargan a la cuenta del gerente de transportación. El gerente de transportación puede estimar en realidad el impacto de su decisión de la selección del transporte en los costos de inventario y hacer una selección que equilibre los costos de una parte a otra de la empresa, siguiendo simplemente sus propios objetivos de presupuesto.

Otro incentivo es establecer alguna forma de acuerdo para ahorrar y compartir costos. Todos los gerentes de las actividades separadas de la logística que muestren patrones

conflictivos de costos podrían conciliar sus ahorros de costos. Podría establecerse una agenda predeterminada para dividir dichos ahorros en una redistribución de los salarios. Hay un incentivo para la cooperación porque los posibles mayores ahorros ocurren cuando la cooperación lleva a un equilibrio de actividades que tienen patrones conflictivos de costos. Estos planes, llamados de beneficios compartidos, han tenido éxito limitado entre las empresas, pero unas cuantas empresas los han usado de manera efectiva (por ejemplo, Lincoln Electric).

El uso de comités de coordinación es otra valoración informal de la organización de la logística. Estos comités están formados por los miembros de cada área logística importante. Si se suministra un medio por el cual pueda darse la comunicación, entonces puede ocurrir la coordinación. En las compañías en las que hay un historial de comités de coordinación, la forma de comité puede ser bastante satisfactoria. Dupont es un ejemplo de compañía famosa por manejo efectivo por medio de comités. Aunque los comités parecen ser una solución sencilla y directa para el problema de coordinación, su desventaja es que en general tienen poco poder para llevar a cabo sus propias recomendaciones.

Una manera en particular efectiva de favorecer la coordinación es que el ejecutivo en jefe lleve a cabo una revisión de las decisiones y operaciones logísticas. La alta gerencia tiene la posición necesaria en la estructura organizacional para observar fácilmente dentro de la misma las tomas de decisiones que estén por debajo de lo óptimo. Dado que los gerentes subordinados en las áreas de las actividades logísticas son responsables ante la alta gerencia, el estímulo y apoyo que reciban de ella para la coordinación y cooperación entre estas actividades interfuncionales contribuyen mucho a alcanzar los objetivos de la organización que no tenga una estructura organizacional formal.

La organización semiformal

La forma de organización semiformal reconoce que la planeación y operación de la logística por lo regular ataja las diversas funciones dentro de la estructura organizacional de una empresa. El responsable de la logística, o coordinador de la cadena de suministros, es entonces asignado a la coordinación de proyectos que incluyen la cadena de suministros y que cubren varias áreas funcionales. Este tipo de estructura se llama, a menudo, organización *matricial*, y ha sido popular en especial en la industria aeroespacial. El concepto ha sido adaptado al manejo del sistema logístico, como se muestra en la figura 15-2.

En una organización matricial, el gerente de la logística y la cadena de suministros tiene la responsabilidad de todo el sistema de logística, pero no tiene autoridad directa sobre las actividades que lo componen. La estructura organizacional tradicional de la empresa permanece intacta, aunque el gerente de la logística y la cadena de suministros comparta la autoridad y los motivos de la decisión con el gerente del área de cada actividad. Cada departamento funcional, así como el programa logístico, deben justificar los gastos de las actividades, lo cual es la base para la cooperación y la coordinación. El coordinador de la logística y la cadena de suministros puede, incluso, ayudar en las actividades logísticas de coordinación entre las empresas miembros del canal de suministros, más allá de los límites de su empresa.

Aunque la organización matricial puede ser una forma de organización útil, deberíamos reconocer que las líneas de autoridad y responsabilidad suelen ser confusas. Pueden surgir conflictos difíciles de resolver. Sin embargo, para algunas empresas esta opción es un buen balance entre una forma informal y otra altamente estructurada.

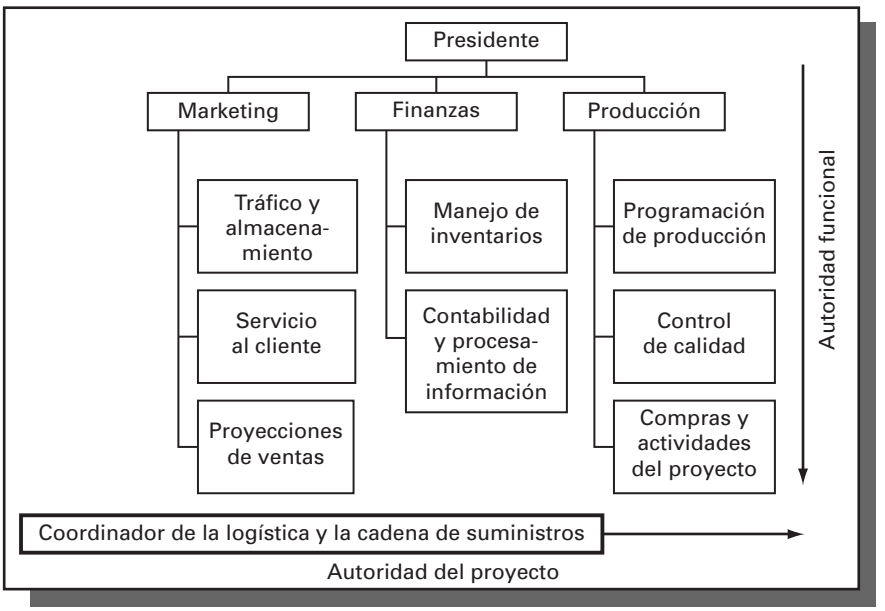


Figura 15-2 Organización matricial de la logística y la cadena de suministros.

Ejemplo

United Fixtures fabrica equipos de plomería, con ventas en un rango de $80 millones. Esta empresa creó recientemente un departamento de distribución para resolver sus problemas de logística. El nuevo gerente reportaba al vicepresidente de ventas y marketing. Al departamento se le dio el objetivo de definir los estándares de servicio al cliente y luego coordinar dichos estándares con los programas de repartos y los planes de producción.

Previamente, el departamento de ventas había estado diseñando las rutas de los pedidos de producción desde la planta para favorecer a los clientes grandes, y el personal de control de producción no podía seguir así durante más tiempo. El nuevo departamento pudo identificar rápido el cuello de botella e instituir un sistema que coordinara mejor la entrada de los pedidos, los programas de producción, el almacenamiento de campo y la transportación, con el fin de cubrir las demandas de los clientes.

Al mismo tiempo, el personal de ventas desarrolló nuevos métodos para darle la vuelta a los programas acomodando, una vez más, a los clientes favorecidos. El personal de compras confundió aún más la situación quejándose de que, debido a los nuevos programas de producción, los requerimientos de materiales eran ampliamente diferentes.

A pesar del impacto favorable en los costos de transporte y un mejor reparto a tiempo, todavía quedaban problemas. La mayor parte de las funciones de la empresa que estaban involucradas (o que participaban en el sistema de movimiento de materiales) consideraban que el departamento de distribución sólo estaba interesado en mejorar un sistema que ayudara a la distribución de los bienes terminados. Además, el gerente de distribución estaba alicaído porque no había sido capaz de lograr el control del inventario de productos terminados. El vicepresidente de manufactura era el "responsable del con-

trol del *stock* de la compañía" y no estaba en disposición de liberar el control sobre los productos terminados.

La compañía estaba convencida de llevar a cabo una forma de organización matricial. Se logró un éxito sustancial, pero se han experimentado algunas dificultades debido a la autoridad compartida. Se nombró un vicepresidente ejecutivo a cargo de los materiales. En este trabajo no tenía responsabilidad sobre un gran número de personal ni tampoco tenía algún departamento que le reportara. Debido en parte a lo prestigioso de su título y a su discreta valoración, sus dos asistentes y él fueron capaces, a pesar de todo, de lograr el tipo de coordinación general que habían evitado otras organizaciones funcionales.[6]

La organización formal

La organización formal es aquella que establece líneas claras de autoridad y responsabilidad para la logística y la cadena de suministros. Esto por lo general implica: 1) colocar un gerente en una posición superior relacionada con las actividades de logística, y 2) colocar la autoridad del gerente en un nivel de la estructura de la organización que permita el compromiso efectivo con las otras áreas funcionales importantes de la empresa (finanzas, operaciones y marketing). Esto alienta y estructura al personal de logística de manera que promueva la coordinación de las actividades. Las empresas buscan la manera de organización formal cuando los acuerdos menos formales prueban ser ineficaces o cuando se tiene que poner más atención en las actividades logísticas.

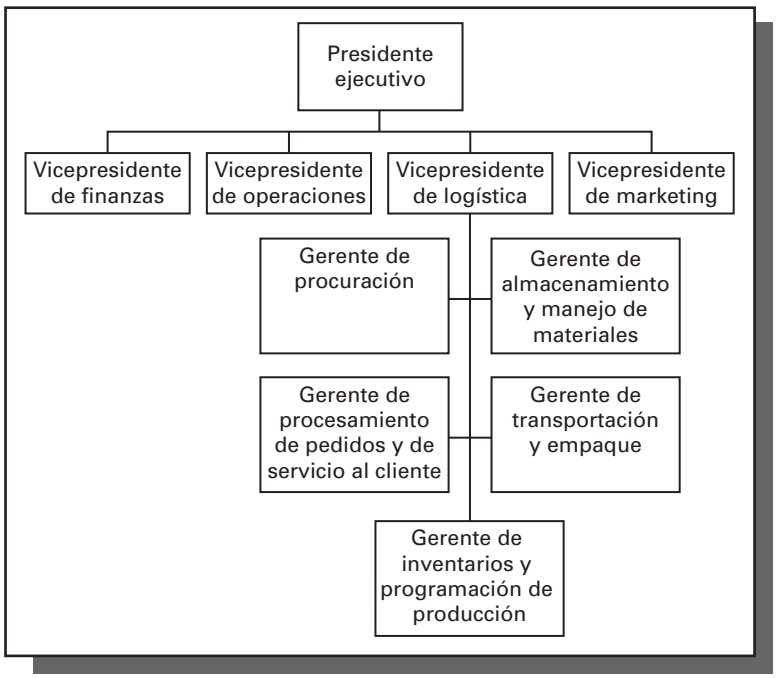
Los profesionales a menudo nos recuerdan que no hay tal cosa como una organización típica para la logística. La estructura organizacional está hecha a la medida, según las circunstancias individuales dentro de una empresa. Sin embargo, podemos desarrollar una organización formal generalizada que tenga buen sentido en términos de los principios de administración de logística y que aparezca, al menos en forma parcial, en suficientes empresas como para usarlo como modelo. Esta estructura organizacional se muestra en la figura 15-3 y sirve como una valiosa línea directriz.

Este diseño formal alcanza varios fines importantes. Primera, la logística y la cadena de suministros se eleva a una posición en la organización en la que es administrada con la misma autoridad que las otras funciones importantes. Esto ayuda a asegurar que las actividades de logística reciban la misma atención que marketing, operaciones y finanzas. También plantea las bases para que el gerente de logística tenga igual autoridad al momento de resolver los conflictos económicos. Poner a la logística al mismo nivel que las otras áreas funcionales crea un equilibrio de poder para el bienestar económico de la empresa en su conjunto.

Segunda, se crea un número limitado de subáreas bajo el encargado de la logística y la cadena de suministros. Las cinco categorías mostradas en la figura 15-3 se establecen con un gerente separado para cada una y se manejan como entidades distintas. De manera colectiva, representan las actividades importantes de las que, por lo general, son responsables los gerentes.[7] ¿Por qué hay exactamente cinco áreas? Solo se crean tantas áreas como lo requieran las competencias técnicas. Podría parecer deseable combinar, digamos, las actividades de transportación e inventario en una única área, porque sus costos están

[6] Daniel W. DeHayes Jr. y Robert L. Taylor, "Making 'Logistics' Work in a Firm", *Business Horizons* (junio de 1972), págs. 38, 45, Copyright © 1972 por la Foundation for the School of Business at Indiana University. Utilizado con autorización.
[7] Bernard J. LaLonde y Larry W. Emmelhainz, "Where Do You Fit In?" *Distribution,* Vol. 8, Núm. 11 (noviembre de 1985), pág. 34.

Figura 15-3
Estructura organizacional formalizada y centralizada para la logística y la cadena de suministros.



por naturaleza en conflicto y podría lograrse una mejor coordinación. Sin embargo, las habilidades técnicas requeridas en cada área son sustancialmente diferentes, por lo que es difícil hallar una dirección para las áreas combinadas que tenga ambos tipos de habilidades. A menudo es más factible mantener dichas actividades bajo un administrador diferente y confiar en el gerente de logística para establecer una coordinación mediante los tipos de organización informales o semiformales comentados previamente. Pueden ofrecerse argumentos similares para las otras áreas de actividad. Por lo tanto, la estructura de organización formal es un equilibrio entre minimizar el número de grupos de actividades para favorecer la coordinación y dividirlas para ganar efectividad en la dirección de sus aspectos técnicos.

La forma organizacional de la figura 15-3 es la más formalizada y centralizada que en general se encuentra actualmente en la industria. Es una estructura que integra tanto la administración de materiales como la distribución física bajo una única bandera. De hecho, relativamente pocas empresas han logrado este grado de integración (20% en 1985),[8] pero es probable que las tendencias del costo y del servicio al cliente aumenten su popularidad. Sin embargo, el modelo básico es útil si una empresa organiza sus operaciones logísticas alrededor de las actividades del lado del suministro, como en el caso de muchas empresas de servicios, o alrededor de las actividades de la distribución física, como en muchas empresas de manufactura.

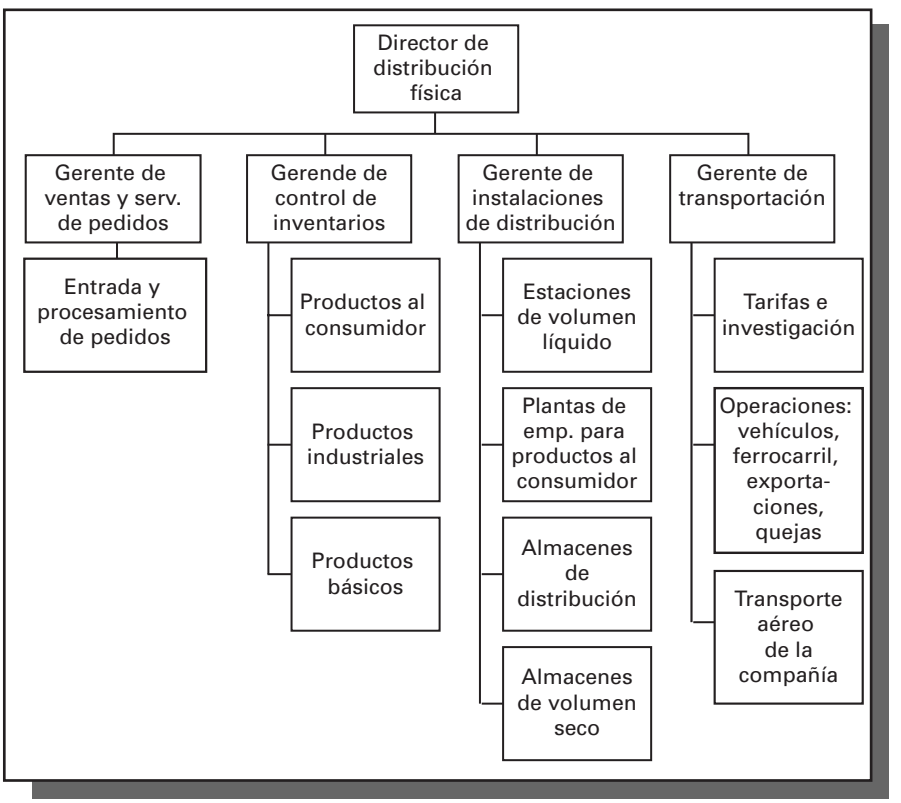
[8] A. T. Kearney, Emerging Top Management Focus for the 1980s.

Ejemplo

Hace algunos años, un productor de derivados de maíz y de soya reorganizó sus actividades de distribución. Debido a sus altos volúmenes de envío, puso gran atención en las actividades de tráfico, con un vicepresidente de tráfico como miembro del consejo de directores. El desempeño de la división de tráfico se medía por el importe del documento de embarque. En parte debido a esto, el sistema de distribución creció hasta llegar a casi los 350 puntos de almacenamiento en inventario.

Como resultado del estudio de un consultor externo y el apoyo de la alta gerencia, las funciones de servicio de productos terminados fueron agrupadas bajo un único director. Esta función integrada se muestra en la figura 15-4 y fue creada a partir de los fragmentos organizativos hallados en toda la compañía. Se seleccionó un miembro del grupo de marketing como la nueva cabeza de la distribución física. La nueva organización no sólo consiguió un mayor control sobre el producto terminado, sino que también redujo el número de envíos retardados en 88%, y logró mayor disponibilidad de existencias en el mercado. Todo esto se consiguió a un menor costo total.

Figura 15-4 Diseño de la distribución organizacional de divisiones para un productor de derivados de maíz y de soya.



Los resultados de la organización de la distribución fueron tan impresionantes que las actividades del lado de la oferta han sido agrupadas bajo un ejecutivo y se han llamado administración de materiales. Fíjese cómo este diseño organizativo fue evolucionando hacia el que se muestra en la figura 15-3.

Orientación organizacional

Según un estudio de la Michigan State University de empresas incluidas en el índice Fortune 500, se halló que el tipo de estructura organizacional que se seleccionaba dependía de la estrategia particular que la empresa estuviera persiguiendo.[9] El diseño organizacional parece seguir tres estrategias corporativas: proceso, mercado e información.

La estrategia del proceso

Una estrategia de proceso es aquella en la que el objetivo es lograr la máxima eficiencia al trasladar bienes desde su estado de materia prima hasta finalizar en el estado de bienes terminados, pasando por el trabajo en proceso. Es probable que el diseño de la organización se enfoque en las actividades que acarreen el costo. Es decir, actividades como compras, programación de producción, inventarios, transportación y procesamiento de pedidos se reunirán y administrarán colectivamente. Lo más probable es que la forma real de la organización sea de los tipos comentados previamente.

La estrategia del mercado

Las empresas que persiguen una estrategia de mercado tienen fuerte orientación de servicio al cliente. Se busca la coordinación entre ventas y logística. No es probable que la estructura de la organización integre las actividades logísticas que son inherentes a la estrategia del proceso. Más bien, se reúnen aquellas actividades directamente relacionadas con el servicio al cliente, tanto para ventas como para logística, y a menudo reportan a un mismo ejecutivo. Es probable que la estructura de la organización se extienda a las demás unidades del negocio para alcanzar un alto nivel de servicio al cliente. Por supuesto, los costos de logística puede que no se mantengan en su nivel más bajo.

La estrategia de la información

Las empresas que persiguen una estrategia de información es probable que sean aquellas que tengan una importante red descendente de distribuidores y de organizaciones para distribución, con importantes inventarios. La coordinación de las actividades de logística por toda esta red dispersa es un objetivo principal, y la información es el ingrediente clave para su buena dirección. Para asegurar esta información, la estructura de la organización está dispuesta a ampliar funciones, divisiones y unidades de negocio. Cuando las actividades logísticas se salen de las fronteras legales de los miembros del canal (como cuando los bienes son colocados en consignación en las tiendas de los minoristas o las empresas compradoras manejan los bienes devueltos) la información debe obtenerse más allá de estos límites organizacionales. Por eso la estructura de la organización debe ampliar los tradicionales límites legales de la misma empresa.

[9] Bowersox y Daugherty, "Emerging Patterns of Logistical Organization".

Deberíamos reconocer que no es probable que ninguna empresa muestre un único diseño de organización. Dado que a menudo existen estrategias mixtas dentro de una misma empresa, aparecerán diversos diseños para empresas esencialmente parecidas. Además, las empresas parecidas pueden estar en diferentes etapas de su desarrollo organizacional. Esto puede hacer difícil de explicar la razón fundamental de una estructura en particular, visto sólo desde su diseño.

POSICIONAMIENTO ORGANIZACIONAL

La elección y orientación de la organización son las primeras consideraciones en la estructura de la organización. A continuación aparece la determinación de la posición de las actividades de la logística para su manejo más eficaz. Por posición se refiere a *dónde* colocar estas actividades en la estructura de la organización. Esto se determina mediante aspectos como: 1) descentralización *versus* centralización; 2) personal asesor *versus* de línea, y 3) compañías grandes *versus* pequeñas.

Descentralización *versus* centralización

Una de las controversias que continúan en la organización es si las actividades deberían agruparse cerca de la alta dirección o dispersarse por las divisiones de las empresas más grandes. Por ejemplo, una gran compañía eléctrica tenía una serie de divisiones de productos, como equipo eléctrico industrial, energía nuclear, instrumentos pequeños, instrumentos grandes y lámparas. Una organización centralizada agrupa las actividades logísticas en el nivel corporativo para servir a todos los grupos de productos, como se muestra en la figura 15-5. Por otra parte, la organización descentralizada de logística sitúa la responsabilidad de la logística en el grupo de productos o nivel de división, como se muestra en la figura 15-6. Se establece una organización logística descentralizada separada para servir a cada división.

Hay algunas ventajas obvias para cada tipo y algunas empresas crean formas de organización que funden ambos tipos con el fin de buscar ventajas combinadas. La razón principal para la forma centralizada es mantener un fuerte control sobre las actividades logísticas y beneficiarse de las eficacias asociadas con la escala de actividades que pueden ocurrir al concentrar todas las actividades logísticas de toda la corporación bajo un único director. Consideremos como ejemplo la actividad de tráfico. Muchas empresas poseen sus flotas privadas de camiones. La utilización del equipo es la clave de la eficiencia. Al tener un control centralizado de todas las actividades de tráfico, una empresa podría hallar que la carga de ida para los productos de una división podría ser la carga de regreso para otra. Entonces, estos movimientos pueden equilibrarse, en tanto que bajo una organización descentralizada podrían pasar inadvertidos. Puede ganarse eficacia parecida mediante el almacenamiento compartido, las compras compartidas y el procesamiento compartido de datos.

La descentralización de la organización permite, a menudo, una respuesta logística más rápida y personalizada a las necesidades de los clientes que la organización más centralizada y escalonada. La descentralización tiene mucho sentido cuando las líneas de productos son inequívocamente diferentes en sus características de marketing, logística y manufactura, y cuando pueden hallarse pocas economías de escala.

Rara vez podemos esperar hallar un diseño totalmente centralizado o totalmente descentralizado. Por ejemplo, aunque hay interés gerencial en una autonomía a nivel de división (e incluso regional) entre las unidades de operación de una empresa, los avances técnicos,

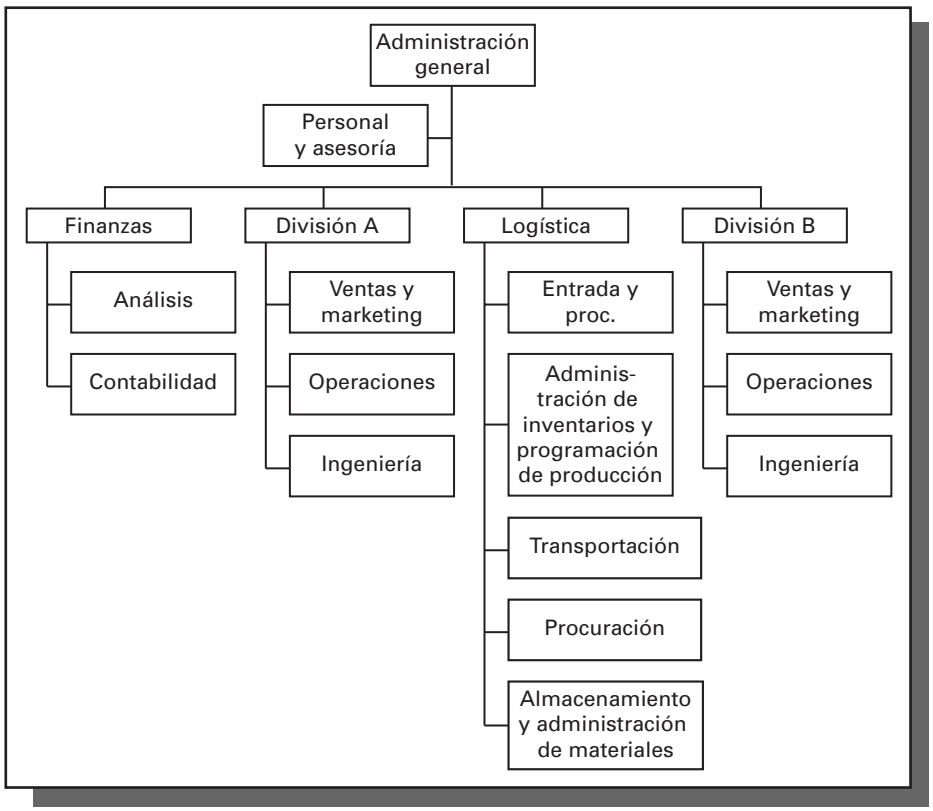


Figura 15-5 Ejemplo generalizado de una estructura organizacional centralizada de la logística y la cadena de suministros.

como el procesamiento computarizado de datos, han hecho más eficiente tener un procesamiento de pedidos y control de inventarios centralizados. Dichas tendencias conflictivas ayudan a explicar la diversidad de formas de organización que existen en la práctica.

Personal asesor *versus* de línea

Numerosas empresas no crean organizaciones que tengan responsabilidad directa o lineal sobre el movimiento y almacenaje de los bienes. Encuentran más satisfactorio en sus circunstancias establecer una organización de asesoría, o personal, para la logística. En este caso, al encargado de la logística se le da un papel de asesor para las otras funciones de línea, como marketing y operaciones. Una organización de personal asesor es una buena alternativa cuando: 1) una organización lineal podría causar conflictos innecesarios entre el personal existente; 2) las actividades de la logística son menos críticas que vender, producir y otras actividades; 3) la planeación es relativamente más importante que la dirección, y 4) se trata a la logística como un servicio compartido entre las divisiones de productos.

El tipo de personal asesor de la organización puede ser tomado para cualquiera de las áreas funcionales en un nivel centralizado o descentralizado. Sin embargo, a menudo el personal logístico asesor se localiza cerca de la alta gerencia en su ubicación geográfica

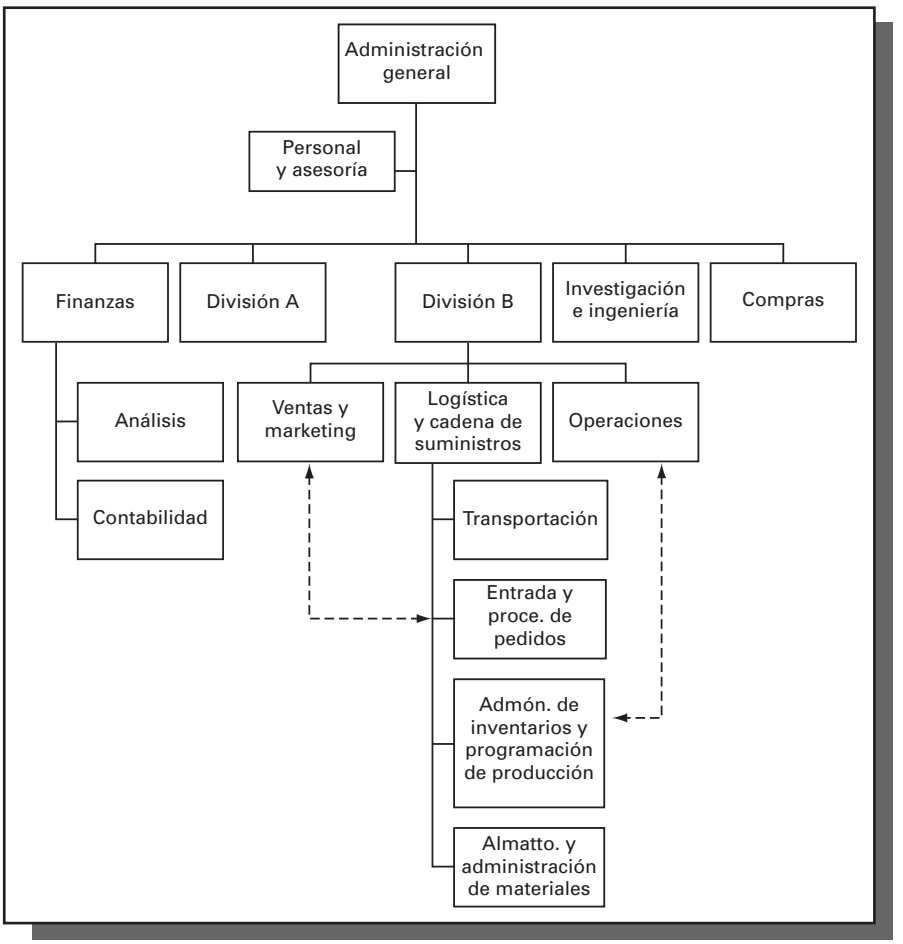


Figura 15-6 Ejemplo generalizado de una estructura organizacional descentralizada de la logística y la cadena de suministros.

o en el organigrama. Dado que este tipo de personal logístico tiene papel de asesor, se puede dar a la logística una autoridad más indirecta a través de ese tipo de posición organizacional. De hecho, algunas plantillas de logística a nivel corporativo pueden tener más autoridad que muchas organizaciones lineales en el nivel de división.

Compañías grandes *versus* pequeñas

La mayor parte de la atención dada aquí ha sido a la empresa grande de múltiples divisiones. ¿Qué pasa con la empresa pequeña? Deberíamos reconocer que la empresa pequeña tiene tantos problemas logísticos como la empresa grande. De alguna forma, las actividades logísticas son más importantes porque la empresa pequeña no se beneficia de compras y envíos por volumen, como lo hace la empresa más grande. A nivel organizacional, la empresa pequeña tiene algún tipo de organización centralizada, pues para propósitos prácti-

cos no existen divisiones de productos. Además, no es probable que las actividades logísticas estén tan claramente definidas y estructuradas como en las empresas más grandes.

Dirección interfuncional

En gran parte de los comentarios anteriores se ha tratado de organizar la logística como una función separada e integrada para reducir conflictos entre las actividades de la logística. En tanto que en general el conflicto se reduce a esas actividades, un área funcional adicional incrementa el nivel de conflicto entre la logística y las otras áreas funcionales dentro de la organización. Dado que todas las actividades de una empresa están interrelacionadas económicamente, desagregarlas a lo largo de las líneas funcionales para crear un grado razonable de control para la administración promueve los conflictos. La autonomía de la responsabilidad, autoridad, compromiso y premios no favorece la compensación de las actividades interfuncionales y puede llevar a que la empresa, en su conjunto, tenga un desempeño por debajo de lo óptimo. Por eso, el encargado de la logística, así como sus superiores, deben estar preparados para hacer frente al problema de la administración interfuncional.

Algunas actividades están en la interfaz de la logística y otras áreas de la empresa, hasta el punto de crear una responsabilidad compartida. Estas pueden incluir el servicio al cliente, la entrada y procesamiento del pedidos, empaque, ubicación de minoristas para la interfaz de logística y marketing; y ubicación de plantas, compras y programación de producción para la interfaz de logística y operaciones. Recordemos que las actividades de interfaz son aquellas que requieren alguna forma de administración colectiva entre las áreas funcionales involucradas para prevenir que se tomen decisiones por debajo de lo óptimo.

Los beneficios de la administración interfuncional entre la logística y el marketing pueden notarse si consideramos el empaque. El empaque es cuestión de marketing por su impacto en las ventas. Las características de protección, almacenaje y manejo del empaque son, en general, de poca preocupación para marketing, a menos que de alguna manera se determinen en forma parcial retribuciones para marketing por el diseño del empaque. La actividad logística de la empresa a menudo tiene que sufrir las consecuencias de un mal diseño de empaque por las ineficiencias en el manejo y el almacenaje. Por otra parte, el desempeño logístico no se mide por las calidades promocionales de un empaque. Con todo, el empaque es una entidad única. Las características de protección no pueden separarse de las características promocionales. Se necesita algún tipo de cooperación para lograr un diseño de empaque que produzca el mejor equilibrio entre los beneficios de marketing y los costos de logística. Operando sola, es probable que ninguna función surja con un diseño de empaque que sea tan beneficioso económicamente como el que se pueda crear trabajando juntas.

La cooperación entre operaciones y logística en la formación de los programas de producción es un segundo ejemplo. El inventario es el elemento común entre las dos funciones. La función de operaciones busca programar los productos de tal manera que se equilibren los costos de inventario frente a los costos de fabricación. Por otra parte, la logística equilibra los costos de inventario frente a los costos de transportación en el momento de decidir los programas de producción. Sin cooperación no hay garantía de que se logre un equilibrio óptimo entre los costos de transportación, inventario y manufactura.

Entre las áreas funcionales existe un traslape parecido para el resto de las actividades de interfaz.

Ejemplo

Un procesador obtiene acero de importantes productores y lo corta en estado bruto, dándole forma de rollos, hojas y placas para sus clientes que necesitan el acero así preparado para su propio estampado y formado. La mayor parte del negocio se hace por pedido, y los mayores componentes del precio son los costos de inventario, de materia prima y el procesamiento de las máquinas. Los clientes por lo general colocan los pedidos sin notificación previa, lo cual puede provocar que el distribuidor de acero haga una incorrecta planeación. Hay poca oportunidad de conseguir ahorros mediante la programación de los procesos con otros pedidos o de economizar en la compra de materias primas e inventarios. Si los clientes pudieran animarse a informar al procesador de acero cuándo se colocarán sus pedidos y cuáles serán sus requerimientos, podría alcanzarse mayor rendimiento en la operación. Trabajando con ventas, operaciones puede estimar el beneficio de los compromisos de comprar con anticipación, mientras que ventas usa la información para determinar un descuento en el precio para los clientes según la anticipación de su notificación. Alineando los descuentos de los precios con los beneficios de la operación pueden mejorar los beneficios de todo el canal, además de que se pueden encontrar mayores beneficios de utilidades para los clientes individuales y para el procesador de acero. Ventas y operaciones han cooperado en forma interfuncional para el mayor beneficio de la compañía.[10]

Dirección interorganizacional

Hasta aquí hemos anotado los problemas organizacionales asociados con el realineamiento de las actividades de una empresa con el fin de alcanzar compensaciones económicas significativas, así como los problemas asociados con el manejo de las actividades en interfaz de áreas funcionales. Estos dos problemas administrativos son internos de la empresa. Dado que la política de suministros y distribución de cualquier empresa en el canal de distribución puede afectar el desempeño de otras empresas del canal, surge la pregunta sobre si podría haber alguna ventaja en visualizar el canal como una única entidad o "superorganización" y dirigirla para beneficio de todos los miembros involucrados. Tal vez esta proposición no sea nueva, pero los procesos involucrados son poco comprendidos. Según comentaron Stern y Heskett hace algún tiempo:

> La dirección de organizaciones complejas ha sido objeto de considerable y detallado examen por parte de los estudiantes de los procesos administrativos. Pero sólo una pequeña parte de la literatura se ha dirigido a la dirección de los sistemas de interorganización, entidades cuyos objetivos trascienden a los de las organizaciones sencillas definidas por límites legales.[11]

Si pudieran desarrollarse procesos organizacionales efectivos para tratar temas logísticos externos a la empresa, ésta tendría la posibilidad de ganar de tal manera que no sería po-

[10] Stephen M. Gilbert y Ronald H. Ballou, "Supply Chain Benefits from Advanced Customer Commitments", *Journal of Operations Management,* Vol. 18 (1999), págs. 61-73.
[11] Louis W. Stern y J. L. Heskett, "Conflict Management in Interorganization Relations: A Conceptual Framework", en: Louis W. Stern, *Distribution Channels: Behavioral Dimensions* (Boston: Houghton Mifflin, 1969), pág. 268.

sible de otra forma. Esta es una idea clave en la dirección de la cadena de suministros y sólo ahora se ha seguido activamente por investigadores y profesionales.

La superorganización

La superorganización es un grupo de empresas relacionadas por sus procesos de negocios y sus mutuos objetivos (satisfacer a los clientes y maximizar los beneficios), pero que están legalmente separadas. Comparten un interés común en las decisiones individuales que cada una toma, dado que las decisiones de las otras empresas pueden afectar su desempeño, y viceversa. Por ejemplo, la decisión de fijación de precios de un transportista influirá en la decisión del cliente del transportista sobre cuánto servicio comprar. La decisión de compra del cliente, a su vez, influye en la decisión de la fijación de precios del transportista. Normalmente, cada empresa toma sus decisiones al tiempo que persigue sus objetivos individuales. Si el objetivo es la maximización de los beneficios, tomar individualmente las decisiones de compra y fijación de precios no sólo lleva a beneficios por debajo de lo óptimo para las demás empresas a nivel colectivo, sino que también puede causar beneficios por debajo de lo óptimo para las empresas a nivel individual. La administración de la superorganización es una tarea relativamente fácil si los esfuerzos cooperativos producen en forma proporcional mayores ganancias para cada miembro y si se distribuyen de manera justa. La situación es de automotivación para los miembros, y la única necesidad es darse cuenta de la posibilidad y de los beneficios de la cooperación. Sin embargo, si los beneficios de la cooperación se "inclinan" (preferencia desproporcionada) hacia uno, o unos pocos de los miembros del canal es necesaria que haya entre los miembros una distribución equitativa de los beneficios y una dispersión de información sobre los efectos de la cooperación.

Ejemplo[12]

Los conflictos y las oportunidades dentro de la superorganización pueden ilustrarse mediante un sencillo ejemplo hipotético. Supongamos que un canal de suministros consiste en un comprador y un vendedor. El vendedor fija el precio de un artículo al comprador y el comprador decide la cantidad a comprar. La demanda en el comprador es relativamente predecible y estable; el comprador determina la cantidad de compra a partir de la fórmula económica de la cantidad de pedido para minimizar los costos de procuración y de manejo de inventarios. El posible conflicto en el canal surge cuando la cantidad de pedido para el comprador no es la cantidad preferida de pedido para el vendedor.

El comprador es un fabricante de equipo original que produce D = 10,000 unidades de cierto modelo a una tasa constante. Esta empresa compra un componente para este modelo a un proveedor superior del canal. Cada vez que el comprador coloca un pedido, incurre en un costo de pedido asociado con detalles administrativos, transportación, etc. Este costo de pedido es S_b = \$100. El comprador también sufre un costo de manejo de inventario de I = 20% anual para el componente valorado en C = \$50 por unidad. Obviamente, el comprador intentará determinar una cantidad de pedido (Q_b) que equilibre los

[12] Parafraseado de Ronald H. Ballou, Stephen M. Gilbert y Ashok Mukherjee, "New Managerial Challenges form Supply Chain Opportunities", *Industrial Marketing Management,* Vol. 29, Núm. 1 (2000), págs. 7-18, con autorización de Elsevier Science.

costos de pedido frente a los costos de manejo de inventario. A partir de la fórmula *EOQ* (véase de nuevo la ecuación 9-7) la cantidad óptima de pedido para el comprador es

$$Q_b^* = \sqrt{\frac{2DS_b}{IC}} = \sqrt{\frac{2(10{,}000)(100)}{(0.2)(50)}} = 447 \text{ unidades}$$

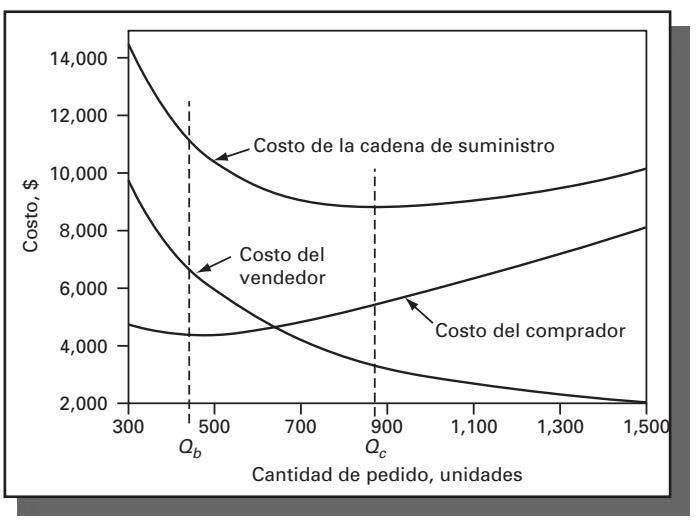
El proveedor produce el pedido en el momento en que lo recibe del comprador. Cada vez que el vendedor se pone en marcha para producir un lote de componentes, incurre en un costo de preparación de la producción de S_s = \$300, y el costo total anual de preparación (C_s) depende de la cantidad de pedido del *comprador*: $C_s = \$300D/Q_b$. Cuanto más frecuentemente coloque pedidos el comprador, más costos de preparación se imponen en el vendedor.

La cantidad óptima de pedido del comprador (Q_b) no es la misma que la cantidad óptima de pedido para toda la cadena de suministros (Q_c). Estas dos cantidades de pedido se llaman, respectivamente, Q_b y Q_c, en la figura 15-7. Si la cadena de suministros fuera propiedad y estuviera operada por una única empresa, el costo total de pedido y de ejecución para un lote de componentes sería $S_c = S_b + S_c$. El costo total de manejo de inventario sería el costo de manejo en el que incurre el comprador, *IC*. La cantidad óptima de pedido para el canal sería

$$Q_c^* = \sqrt{\frac{2D(S_b + S_s)}{IC}} = \sqrt{\frac{2(10{,}000)(100 + 300)}{(0.2)(50)}} = 894 \text{ unidades}$$

Infortunadamente, cuando el comprador y el vendedor son entidades legalmente separadas, el comprador carece de la motivación necesaria para desviarse de su cantidad óptima de pedido de 447 unidades, aunque los costos totales para la cadena de suministros serían menores si lo hiciera. De hecho, los costos totales de preparación y de manejo de inventario incurridos por la cadena de suministros son 25% más altos, porque la decisión en el propio interés del comprador le hace pedir en cantidades que son casi más de la mitad de lo que es óptimo para la cadena de suministros. La situación económica se resume en la tabla 15-1 y se muestra gráficamente en la figura 15-7.

Figura 15-7
Curvas de costos para el comprador, el vendedor y la cadena de suministros.



	Óptimo del comprador, Q_b = 447 unidades	Óptimo de la cadena de suministros, Q_C = 894 unidades	Cambio de costos desde el óptimo del comprador, Q
Vendedor[a]	$ 6,711	$3,356	–50%
Comprador[b]	4,472	5,589	+25%
Cadena de suministros[c]	11,183	8,945	–20%

[a] $TC_s = S_sD/Q_s$
[b] $TC_b = S_bD/Q_b + ICQ_b/2$
[c] $TC_c = (S_s + S_b)D/Q_c + ICQ_c/2$

Tabla 15-1 Costos anuales para el comprador, el vendedor y la cadena de suministros bajo varias cantidades de pedido, en unidades

Es claro que los costos de la cadena de suministros pueden reducirse cambiando a cantidades de pedido basadas en los costos para toda la cadena de suministros, en vez de permitir que el comprador dicte el tamaño del pedido. Si fuera verdad que cambiando a la cantidad óptima de pedido para la cadena de suministros resultara que *ambos*, el vendedor y el comprador, consiguieran costos más bajos, el canal sería económicamente estable, es decir, ningún miembro desearía alterar la cantidad de pedido dado que sus costos serían más altos. Como hemos visto en la tabla 15-1 si se hiciera un cambio en la cantidad óptima de la cadena de suministros, el vendedor podría beneficiarse a expensas del comprador, cuyos costos se incrementarían en 25%. Dado que el comprador controla la cantidad, él no pedirá la cantidad óptima de la cadena de suministros a menos que los beneficios sean redistribuidos para recompensarle por hacerlo así. Los beneficios se están acumulando en un miembro del canal que no es el responsable de su creación. Se necesita encontrar formas para resolver este conflicto.

Manejo del conflicto

El objetivo de dirigir la superorganización es establecer las condiciones de tal forma que cada miembro de la coalición pueda beneficiarse de su cooperación para mayor bien. Manejar la superorganización no es lo mismo que dirigir dentro de los límites de la empresa. La confianza se centra más en los pactos y en los acuerdos tácitos que en las relaciones estructurales formalizadas. Este tipo de dirección por lo general es poco entendida y está sujeta a mayor investigación. Sin embargo, la dirección para una administración con éxito de la superorganización parece clara. Primero, se necesita establecer la métrica para identificar las oportunidades de las posiciones de frontera y medir el desempeño debido a la cooperación. Segundo, es necesario que haya formas de compartir la información relevante entre los miembros de la superorganización. Tercero, tiene que existir la aplicación de una estrategia para la resolución de los conflictos. Cuarto, tiene que haber algún método para distribuir las ganancias logradas por la cooperación y para mantener la coalición.

Necesidad de la métrica

Descubrir y cuantificar las oportunidades de ahorro de costos y mejora del servicio en la cadena de suministros (surgidas del manejo entre las fronteras de las compañías) requie-

re un sistema de contabilidad que pocos poseen. Una contabilidad multiempresa necesitaría reportar tales costos como manejo de inventario, transportación, ejecución de pedidos o de producción, almacenaje y manejo de productos, todos los costos, demanda y servicios asociados con los flujos de productos entre las empresas. Los miembros del canal deben ser capaces de evaluar el efecto en su desempeño de la toma de decisiones, así como el de los otros miembros. Necesitan saber dónde "se agrupan" los beneficios en el canal y cuantificar los cambios en el desempeño de la logística. Las medidas que se enfocan específicamente hacia las posiciones fronterizas, como costo y beneficios totales del canal, tiempo total del ciclo de pedido y productividad del canal deberían ser una parte de los informes de todo el canal. Muchas de las métricas que las empresas usan internamente para sus propios propósitos administrativos necesitan ampliarse a sus asociados de la cadena de suministros. Cualquiera que sea la forma que tomen esas métricas deberían *animar* a la identificación y a la medida de las oportunidades de la superorganización.

Información compartida

En la superorganización es necesaria una base adecuada de información al menos por dos razones. Primera, con el fin de que cada empresa ajuste sus variables controlables de modo que se logren los beneficios óptimos del canal, se requiere un conocimiento de los datos del factor económico en los problemas de tomas de decisión a los que se enfrentan los otros miembros, así como información de contabilidad acerca del nivel de ganancias acumuladas para cada miembro. Segunda, un sistema adecuado de información también reduce las incertidumbres entre los miembros autónomos y contribuye a que continúen su cooperación voluntaria. Podría establecerse un sistema de información entre los miembros, pero asegurar una información adecuada y confiable entre los miembros es difícil a causa de las débiles líneas de responsabilidad. Sin embargo, es esencial compartir la información relacionada con el esfuerzo cooperativo, dado que ayuda a construir la confianza entre los miembros, un ingrediente clave para favorecer y mantener la cooperación.

Distribución de los beneficios

Es importante una redistribución equitativa de los beneficios logrados por la coalición mediante la cooperación. Véase de nuevo la tabla 15-1, especialmente la columna 3. Bajo la cantidad revisada de pedido, los costos del canal están en su nivel más bajo, pero el cambio en los costos (véase columna 4) no está equitativamente distribuido entre los miembros. Es decir, tanto el vendedor como el canal tienen posibilidad de ganar si el comprador cambia la cantidad de pedido. Sin embargo, el comprador tiene posibilidad de perder cuando los costos se incrementan. El comprador carece del estímulo para cooperar, dado que él puede beneficiarse más actuando sólo, como puede deducirse de sus cifras de costo para Q_b en la tabla 15-1. El comprador podría abandonar la coalición. Si se estableciera un método para la redistribución de costos (tal vez en proporción con los niveles de costos que es probable que existan bajo la situación en la que ambos miembros actúan solos), cada miembro podría estar satisfecho. El comprador recuperaría el nivel de costos que habría ganado si hubiera actuado sólo, además de tener una participación de los beneficios de los costos adicionales logrados mediante la cooperación. Es probable que ambos miembros continúen en la coalición, dado que obtienen beneficios de ella. Sin embargo, puede ser difícil establecer un método para pasar los beneficios entre los miembros del canal que los mantendrá actuando en concierto.

Estrategias para la resolución del conflicto[13]

Cuando la cooperación produce una distribución equitativa de los beneficios entre los miembros del canal, no se necesita acción formal para redistribuir los beneficios. Todos los miembros están en mejor posición y pueden estar satisfechos con el resultado. Sin embargo, si los miembros creen que ellos ganan, pero de manera desigual o los beneficios "se agrupan" en algunos miembros a expensas de otros, entonces existe la posibilidad de usar un mecanismo formal o informal de transferencia.

Un mecanismo *formal* de transferencia es aquel en el que una variable del flujo de producto bajo el control de un miembro del canal puede alterarse, de manera que influya en la acción de otro miembro para que se logre el óptimo de todo el sistema. Un ejemplo en la ilustración anterior sería ajustar el precio en el canal que está bajo el control del vendedor. En la tabla 15-1, se muestra que los costos del comprador se incrementan en $1,117 por año, si estuviera de acuerdo en una cantidad de pedido de 894 unidades, en tanto que los costos del vendedor se reducen a $3,355 para esta cantidad. Si el vendedor transfiere algunos de sus beneficios en forma de un descuento de precios que reduzca los costos anuales del comprador en un mínimo de $1,117, un comprador económicamente racional tomará el incentivo y pedirá la cantidad óptima de la cadena de suministros. Aunque el precio es una variable que puede manipularse para lograr la redistribución de los beneficios, otros mecanismos formales de transferencia podrían incluir pedidos mínimos, redistribución de los pedidos entre los miembros del canal para premiar la cooperación, e incentivos de pedidos futuros, dependiendo de la configuración del canal y de dónde tienden a reunirse los beneficios en el canal.

Asegurar la cooperación en una cadena de suministros, cuando no está presente o no se va a usar un mecanismo formal de transferencia, requiere otros mecanismos que son menos directos y obvios, es decir, *informales*. Los mecanismos cooperativos informales surgen más allá del alcance de la comprensión económica tradicional de intercambio, pues a diferencia de la teoría económica de la competencia pura y perfecta, no se ha desarrollado una teoría de la cooperación pura y perfecta.

Al menos dos mecanismos informales principales y distintivos, *poder* y *confianza*, pueden usarse para generar la cooperación en una cadena de suministros. Estos mecanismos normalmente se refieren como alternativos uno de otro. El poder es un concepto central porque se piensa en su mera existencia para condicionar a otros. El poder también es visto como un dogma central para lograr la cooperación. Por lo contrario, hay teorías que afirman que lo básico para un marketing de relaciones es la presencia de la confianza, no del poder, y su capacidad para condicionar a otros.

Consideremos el papel del poder como un mecanismo para lograr la cooperación. El ejercicio del poder por un miembro del canal podría usarse en especial frente a los que estén peor por causa de la cooperación. Un miembro podría ser tan dominante que los otros miembros podrían estar restringidos a la hora de actuar para alcanzar los beneficios de todo el sistema. En el ejemplo, si el vendedor tiene el status de ser el único proveedor podría coaccionar al comprador para que aceptara comprar en la cantidad mayor. El comprador podría tener que aceptar los costos adicionales como un seudoincremento del precio, en tanto que el vendedor no ha cambiado su política de fijación de precios, con los problemas legales concurrentes en los que podría verse involucrado.

Algunas formas adicionales de poder incluyen el poder de la recompensa, el poder del especialista y el poder referente. Un ejemplo del *poder de la recompensa* es establecer al

[13] Íbid.

comprador como un cliente preferido, lo cual podría incluir para él transacciones más rápidas y más sencillas o servicio garantizado en cuanto a disponibilidad de cantidad y tiempo de entrega. El beneficio para el comprador es la reducción de la incertidumbre. De manera similar, un miembro podría usar el *poder del especialista*. En este caso, el vendedor podría suministrar capacitación, información o asistencia en la resolución de problemas como un incentivo para la cooperación. Otro podría ser el uso del *poder referente*. Aquí, el nombre o la imagen de la marca del vendedor pueden ser tan fuertes que pueda permitirse al comprador usarlas en su publicidad y para su beneficio (por ejemplo, Intel Inside). Este es un beneficio indirecto para el comprador, quien entonces puede estar de acuerdo en la cooperación en la cadena de suministros. Si el valor de estos incentivos excede del incremento del costo de $1,117 experimentado por el comprador, entonces un comprador racional es probable que haga pedidos en cantidades más grandes.

Otro mecanismo informal, la *confianza*, se define como la expectativa general mantenida por un miembro del canal de que se puede confiar en la palabra del otro. Es decir, una parte tiene confianza en la integridad y seguridad del asociado de intercambio. Una vez que se establece la confianza, las partes aprenden que los esfuerzos coordinados y conjuntos llegan a resultados que exceden lo que la empresa puede alcanzar actuando sólo en su propio interés, que es exactamente el fenómeno ilustrado en el ejemplo. En situaciones de convenio comprador-vendedor, hallamos que la confianza está en el punto central del proceso para lograr la resolución de los problemas cooperativos y alcanzar un diálogo constructivo.

La confianza puede conducir de manera directa a la cooperación, o en forma indirecta mediante el desarrollo de compromisos, los cuales luego conducen a la cooperación. Un asociado comprometido con la relación cooperará con otro a causa del deseo de hacer que la relación funcione. En las relaciones entre compañías se pone atención al compromiso y la confianza para tener fuertes relaciones positivas con la cooperación. Los conceptos de confianza y compromiso se usan como mecanismos para reforzar el marketing de relaciones, el cual se refiere a asociaciones comerciales únicas de valor agregado por las cuales el comprador puede estar dispuesto a pagar un precio.

Dado que la confianza y el compromiso conducen al resultado deseado de la cooperación en la cadena de suministros, ¿cuáles son los precursores de la confianza y el compromiso en una cadena de suministros? Un importante precursor de la confianza es la *comunicación*, la cual puede definirse ampliamente como compartir información significativa y oportuna (de manera formal o informal) entre los miembros del canal. Compartir información es uno de los cinco pilares fundamentales que caracterizan las relaciones sólidas de una cadena de suministros, según LaLonde.[14] La comunicación a tiempo sostiene la confianza ayudando en la resolución de disputas y alineando las percepciones y expectativas de los beneficios de la cooperación. Esta acumulación de confianza, a su vez, conduce a una mejor comunicación. Por eso, la información relevante, oportuna y confiable dará como resultado mayor confianza. Nuevas formas de compartir información, así como compartir información (que por lo general, se mantiene en privado) entre las partes puede ser vital para obtener la cooperación en la cadena de suministros.

Otro precursor de la confianza son los *valores compartidos*. Los valores compartidos son las creencias comunes que los asociados tienen sobre cuáles comportamientos, objetivos y políticas son importantes o no, apropiadas o inapropiadas, correctas o incorrectas. El comportamiento resulta a partir de: 1) compartir, identificarse con, o interiorizar los

[14] Bernard J. LaLonde, "Building a Supply Chain Relashionship", *Supply Chain Management Review,* Vol. 2, Núm. 2 (otoño de 1998), págs. 7-8.

valores de una organización, o 2) la evaluación cognoscitiva del valor instrumental de una relación continua con una organización. Por eso, los valores compartidos conducen a la confianza y al compromiso, y ellos a su vez a la cooperación. En un canal de suministros es probable que los miembros del canal compartan objetivos económicos comunes.

Ninguno de estos métodos puede garantizar la resolución de los conflictos o forzar a un miembro en particular del canal a desempeñarse de manera que beneficie al canal en su conjunto. Sin embargo, deberían suministrar algunas líneas directrices para darse cuenta de las oportunidades que yacen latentes en la administración del canal logístico entre las empresas.

Alianzas y asociaciones

Como una alternativa a la propiedad total de la capacidad logística y a la necesidad de una estructura ampliada de la organización de la logística o para mantener unos holgados acuerdos para la cooperación, algunas empresas eligen *compartir* su capacidad logística con otras empresas o *contratar* las actividades logísticas para que sean desempeñadas por empresas especialistas en tales servicios, llamadas operadores logísticos (*3PLs*). Muchas empresas están reconociendo que se pueden conseguir ventajas estratégicas y operativas al formar una asociación logística. Algunos de los beneficios generales son

- Costo reducido y menores requerimientos de capital
- Acceso a capacidades de tecnología y administración
- Mejor servicio al cliente
- Ventaja competitiva en cuanto a mayor penetración en el mercado
- Mayor acceso a información para la planeación
- Reducción del riesgo y de la incertidumbre

De éstos, entre los primeros beneficios se clasifican una posible reducción de los costos de distribución/transportación y capital liberado en áreas no prioritarias, considerando también como una ventaja notoria la reducción de personal. El riesgo principal para la empresa es la pérdida de control sobre las actividades logísticas básicas que pueda terminar en que nunca se alcancen las posibles ventajas.

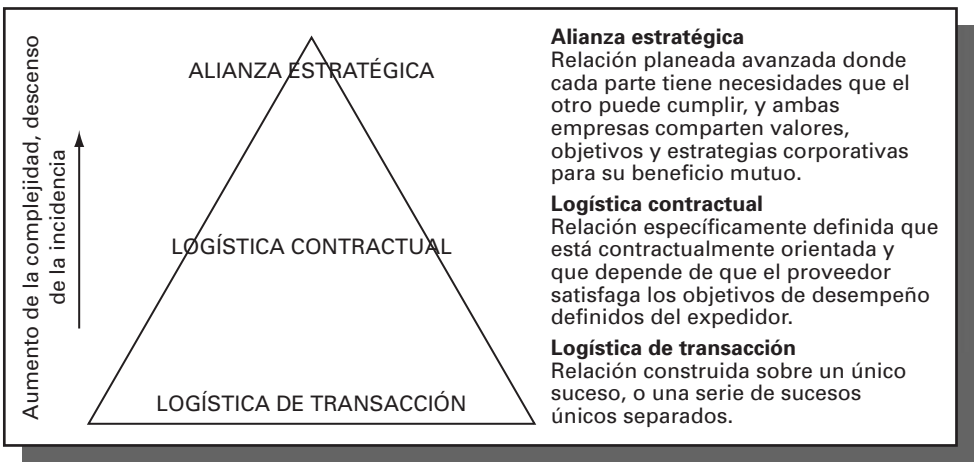


Figura 15-8 *Continuum* de una relación de terceros externos.
Fuente: "Strike Up Logistics Alliances", *Transportation & Distribution* (noviembre de 1988), págs. 38-42.

Hasta cierto punto, las empresas, durante muchos años han estado contratando de terceros una parte de sus actividades logísticas. Cada vez que una empresa llama a UPS o a un transportista privado, o usa un almacén público para guardar sus bienes, está asociándose con una empresa externa para manejar parte de las actividades del canal de suministros. Qué tan amplia es la relación entre la empresa y sus asociados externos es cuestión de grado. La relación puede estar basada en eventos únicos o puede llegar a alcanzar acuerdos contractuales de largo plazo para compartir sistemas en una alianza estratégica. Este continuum de relaciones con terceros se ilustra en la figura 15-8.

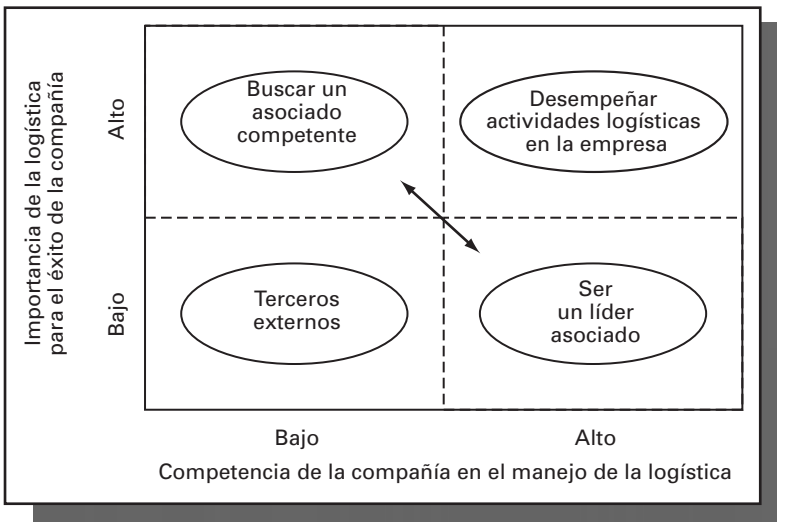
Ejemplos

Las actividades de logística realizadas mediante terceros y las asociaciones con otros en lo que concierne a temas logísticos son bastante comunes. Consideremos algunas de las oportunidades para la reducción de los costos de logística en diversos escenarios.

- MetroHealth, un hospital comunitario de 1,000 camas, mantiene una flota de camionetas y conductores para transportar a los pacientes hacia y desde su complejo hospitalario para llegar a tiempo a las horas de las citas de los exámenes y tratamientos. La utilización de los vehículos y de los conductores es baja, rara vez excede de 50% del tiempo disponible en un día de trabajo. Considerando las presiones del costo en el sistema del cuidado médico, la asociación con otros hospitales de la zona por esta capacidad de transporte, a la vez que se mantiene un nivel de servicio de transporte deseable dentro de la región, tiene buen sentido económico, dado que los territorios de servicio de los hospitales por lo general se sobreponen. Podría evitarse la duplicidad de los sistemas de transporte.
- Un fabricante de productos farmacéuticos estaba construyendo un nuevo almacén para satisfacer sus futuras necesidades de espacio durante un tiempo considerable. El almacén fue diseñado para que tuviera un tamaño adecuado para sus necesidades de máxima capacidad en el futuro, pero el miedo a perder el control sobre el inventario impedía a la compañía buscar un espacio alternativo durante los años intermedios. Buscar asociados para compartir el espacio durante el tiempo que transcurriera hasta que la compañía necesitara recuperar el espacio debido a los crecimientos de inventario, ahorraría el gasto de capacidad excesiva. Por otra parte, los asociados podrían adquirir el espacio a tasas de renta, que eran menores que las de los almacenes públicos o las de los acuerdos contractuales alternativos.
- Abbott Laboratories y 3M consolidaron sus funciones de entrada de pedidos y de distribución para mejorar las compras, el manejo de materiales y el control de inventarios. Las dos compañías formaron una alianza para permitir que los hospitales recibieran suministros de ambas compañías mediante un único reparto. La alianza funciona bien porque las compañías no compiten sustancialmente entre sí. La relación ha suministrado mutuos ahorros de costos de marketing y de distribución. La red de información de IBM *(IBM Information Network)* se ha unido a esta alianza para aprovechar la creciente demanda del servicio de distribución en línea. Los beneficios de la alianza son una mejora en la dirección de la cadena de suministros y mejores servicios para los proveedores más pequeños.[15]

[15] E. J. Muller, "The Comming of the Corporate Alliance", *Distribution,* Vol. 87, Núm. 8 (agosto de 1988), págs. 82-84.

Figura 15-9
Diagrama de selección de dónde desempeñar actividades logísticas.



Decidir si se desempeña la función de la logística en la empresa o buscar otros acuerdos es el equilibrio de dos factores: qué tan importante es la logística para el éxito de la empresa y qué tan competente es la empresa para manejar la función logística. Como se muestra en la figura 15-9, la estrategia a seguir depende de la posición en la que se encuentre la compañía.

Una compañía que tenga altos requerimientos de servicio al cliente, que sus costos logísticos sean proporcionalmente importantes en los costos totales y que tenga una operación logística eficiente administrada por personal competente, tal vez hallará poco beneficio en asociarse o contratar terceros para las actividades logísticas. Las actividades logísticas están mejor desempeñadas en casa. Wal-Mart es una compañía que, debido a su canal de suministros superior, tiene estas características. Por otra parte, para aquellas compañías en las que la logística no es el punto central de la estrategia y que dentro de la empresa no apoyan un alto nivel de competencia logística, las actividades logísticas contratadas a terceros operadores logísticos puede fácilmente conducir a importantes reducciones de los costos y a mejoras en el servicio al cliente. Dell Computer considera que sus fortalezas son el marketing y la fabricación de hardware de computadoras de alta tecnología más que la logística. Esta empresa dirigida hacia el marketing contrata diversos operadores logísticos para coordinar la distribución en zonas geográficas

Cuando la logística es crítica para la estrategia pero la habilidad de la administración logística es baja, hallar una empresa con la cual asociarse puede dar beneficios importantes. Un asociado fuerte puede suministrar instalaciones localizadas en mercados nuevos y en los ya existentes, una capacidad de transportación y una experiencia administrativa que no están disponibles dentro de la compañía. Por lo contrario, cuando la logística no es especialmente crítica para la estrategia, pero es manejada por personal capacitado, los administradores pueden querer ser agresivos tomando el liderazgo al buscar asociados para compartir el sistema logístico, hasta el punto de reducir los costos de la compañía median-

te incremento del volumen y por las economías de escala resultantes. Los asociados objetivo serían aquellas compañías que caen en el cuadrante noroeste de la figura 15-9.

Alianzas

Es bastante natural que una empresa que haya invertido fuertemente en equipamiento de transportación, almacenes, inventarios, sistemas de procesamiento de pedidos, tecnología logística y personal administrativo se pregunte si esta inversión pudiera compartirse con otras empresas para reducir sus propios costos. Por lo contrario, si es consciente de los altos costos logísticos, una empresa puede buscar asociarse con otra empresa que tenga exceso de capacidad logística, ubicaciones estratégicas de instalaciones en los mercados, tecnología deseable y destacadas capacidades administrativas que la empresa busque compartir. Por supuesto, la empresa puede tener ciertas habilidades y capacidades deseables para otras empresas. Formar una alianza logística, o asociación, puede beneficiar a ambas partes. La empresa que no desee construir un alto grado de habilidad administrativa en logística también puede buscar una alianza con un asociado logístico más fuerte para fortalecer su propia posición competitiva.

Una alianza logística se construye con la *confianza*, la *información compartida* que ayuda al desempeño logístico, los *objetivos específicos* para alcanzar un mayor nivel de desempeño logístico del que pueda lograrse solo, la operación de unas *reglas básicas* para cada asociado, y las *provisiones de salida* para la terminación de la alianza. Los beneficios que se derivan de una alianza logística ya han sido comentados. Si estos beneficios son tan obvios, ¿por qué se han creado realmente tan pocas alianzas? La respuesta puede estar en las preocupaciones que un asociado potencial tiene sobre la alianza cuando los canales de suministro tienen que fusionarse. Entre estas preocupaciones las más importantes pueden ser:

- Pérdida de control sobre el canal de logística
- Miedo de ser "sacado de la foto de la logística"
- Preocupación creciente sobre los fallos de la logística y ninguna forma directa de manejarlos para sus clientes
- Quizá no sea posible la identificación de las comprobaciones y los balances adecuados a gusto del asociado
- Dificultad para identificar los ahorros que tienen que lograrse cuando se comparan con los costos logísticos actuales del asociado
- Un sistema de informes que no encaja con el del asociado o uno que es inadecuado para reducir la incertidumbre
- Dificultad para identificar los beneficios que se van a compartir, en especial cuando el asociado tiene alguna propiedad en el sistema logístico
- Simplemente, puede no haber suficiente confianza para intentar este tipo de acuerdo
- Los asociados pueden no ser vistos como iguales cuando los requerimientos de un asociado pueden tener prioridad sobre los del otro
- Dificultad para ver cómo pueden lograrse la confianza, la buena fe y la cooperación en un acuerdo de esta naturaleza
- Muy pocos ejemplos para mostrar cómo dichas alianzas funcionan bien en otras compañías

Las alianzas logísticas son frágiles. Pueden ser difíciles de formar y pueden romperse fácilmente; sin embargo, sus posibles beneficios favorecen la gestión de continuar explorando formas para hacerlas funcionar.

Ejemplo

Un fabricante nacional de equipo de transmisión eléctrica y de potencia con ventas anuales de casi $1.5 mil millones estaba bastante orgulloso del sistema logístico que había creado, en especial del sistema de información usado para operar el sistema. El producto estaba hecho para almacenarse en nueve plantas y distribuirse a nivel nacional a través de ocho almacenes y distribuidores. Las presiones para reducir los costos de logística condujeron a la compañía a considerar un asociado que compartiera el sistema de distribución de la compañía. Los ahorros resultantes del volumen adicional que fluyera por el canal de distribución mejorarían el servicio al cliente y disminuirían los costos.

La compañía creó una alianza con un asociado europeo, que también fabricaba productos industriales y tenía ventas anuales en Estados Unidos de casi $250 millones. La línea de productos era fabricada en dos plantas nacionales con importaciones complementarias. Los productos se producían para almacenar, y las ventas nacionales eran atendidas desde tres almacenes. Los niveles de servicio a los clientes eran parecidos para ambos asociados.

La asociación implicaba, principalmente, compartir el espacio de almacén de la empresa nacional en la zona de California. El fabricante nacional podía recuperar algunos de los costos fijos de almacenamiento y utilizar mejor el equipo de transportación en el mercado de California. El asociado europeo ganaba un acceso fácil al mercado de California, al cual no había penetrado particularmente bien, y los gastos de almacenamiento y reparto eran modestos comparados con otras alternativas.

Logística contractual

Durante años, las compañías han estado usando los servicios de otras empresas para apoyar sus propias actividades logísticas. Los transportistas comunes suministran servicios por carretera y ferrocarril, los almacenes públicos prestan servicios de almacenaje, y las empresas de especialidad brindan servicios de auditoría de conocimientos de embarque y servicios de contabilidad. En años recientes, principalmente desde la desregulación de la transportación, han surgido compañías logísticas que suministran una capacidad logística de servicio total. Es decir, pueden manejar toda la operación logística para una compañía cliente por un precio contratado. Se les ha llamado operadores logísticos, compañías de logística integrada, o especialistas de contratos logísticos. Aunque ha habido un crecimiento importante para estos proveedores de servicios logísticos, las compañías que los usan lo hacen rara vez. El 85% de las compañías que usan estos servicios externos gastan menos de 20% de sus presupuestos logísticos en ellos.[16]

Comparadas con las alianzas, los operadores logísticos o compañías contractuales de logística (3PLs) a menudo son vistas como servicios de ventas más que asociaciones que se benefician del sinergismo entre los miembros de la alianza. Sin embargo, dado que puede haber información compartida y estrechas relaciones de trabajo, a la relación entre una compañía y su proveedor externo de logística a menudo se le denomina una asociación. Las compañías contractuales de logística se ofrecen para suministrar soluciones de alto nivel a los problemas logísticos y un excelente desempeño en la ejecución de las operaciones logísticas. Una motivación principal para que una compañía contrate a terceros algunas de sus ac-

[16] Robert Lieb, "The Use of Third-Party Logistics Services by Large American Manufacturers", *Journal of Business Logistics,* Vol. 13, Núm. 2 (1992), págs. 29-42.

tividades logísticas o todas ellas es que el operador sea más eficiente, porque la logística es su negocio principal, en tanto que no es la actividad principal de la empresa que lo encarga.

Los posibles beneficios de asociarse fueron comentados anteriormente. Por otra parte, también hay algunas posibles desventajas. De una investigación llevada a cabo por J.P. Morgan Securities, Inc., los puntos negativos más comentados al usar un operador logístico fueron la escasez de entendimiento del negocio del cliente y el exceso de promesas sobre las capacidades del servicio.[17] Las barreras que impiden mantener una relación de éxito a largo plazo incluyen: 1) desalineamiento de las culturas de las compañías; 2) cambio en el liderazgo del operador logístico o del usuario; 3) expectativas irracionales de la relación contratada a terceros, y 4) carencia de buena información.[18]

Los fallos en las relaciones con los operadores logísticos algunas veces han sido espectaculares. Han provocado juicios y presión negativa, quizá porque las expectativas de los beneficios eran muy altas. Ahora que han pasado algunos años desde que los operadores logísticos se convirtieron en una opción para los gerentes de logística, los profesionales que tienen experiencia con la contratación a terceros tienen las siguientes 12 sugerencias que pueden conducir a que una compañía tenga relación de éxito a largo plazo con un operador logístico.[19]

1. Determine sus costos actuales de cadena de suministros y niveles de servicio como base para comparar el desempeño con los del operador logístico.
2. Desarrolle las métricas necesarias e invierta en la tecnología apropiada para aceptar y evaluar la información recibida del operador logístico.
3. Invierta el tiempo necesario para asegurarse que usted y el operador logístico están en alineación estratégica.
4. Establezca la confianza cumpliendo las promesas, confesando y aceptando los errores, y aceptando la responsabilidad como sea apropiado.
5. Desarrolle las capacidades para el manejo de relaciones, en especial las habilidades de dirección estratégica y de cambio organizativo, necesarias para gestionar las relaciones con los operadores logísticos.
6. Mida el desempeño del operador logístico en términos de costos, pero también intente medir la contribución del operador logístico al incremento de las ventas.
7. Sea un buen cliente tratando al operador logístico como un asociado, más que como un vendedor.
8. Comuníquese abierta y honestamente.
9. Comparta tanto los riesgos como las gratificaciones.
10. Reconozca al equipo del operador logístico que está trabajando a su favor.
11. Trabaje en las situaciones difíciles en vez de cambiar rápidamente de proveedores.
12. Explore las fronteras para mejorar el desempeño según va madurando la relación.

Ejemplo

Con casi 400 proveedores en 14 estados que envían materiales a 30 plantas de ensamblaje con base en llamadas según la demanda, General Motors encontró que sus costos de inventario y distribución crecían y que sus instalaciones se congestionaban con tráfico de

[17] "Shippers Slam Ignorance of Many 3PLs", *Alliance Shippers* (diciembre de 2001), págs. 30-31.
[18] "Marking a Long Term Commitment", *Inbound Logistics* (julio de 2002), págs. 98-104.
[19] Íbid.

camiones cargados con menos de una carga de camión (LTL). GM se dirigió a Penske Logistics, un operador logístico, para buscar una solución a su medida. GM tenía tres objetivos: reducir costos, mejorar el manejo del material de entrada y del procesamiento de la información, y reducir su base de transportistas.

Penske evaluó los procesos de distribución del fabricante automotriz y recomendó el uso de un centro de distribución o de consolidación estratégicamente localizado en Cleveland. Atendido y dirigido por el personal de Penske Logistics, esta instalación recibe, procesa y consolida los materiales de entrada. Penske Logistics también puso en marcha una flota dedicada de 60 tractores y 72 camiones-remolque, y manejó el desarrollo de las rutas y las recogidas programadas por los proveedores y los repartos justo a tiempo.

Penske programa las recogidas a los proveedores basándose en los niveles de uso de los comunicados vía EDI desde GM. Una vez recibido, el envío cruza el andén de carga para su inmediata armazón y es etiquetado con instrucciones de diseño de ruta para la planta, diseñadas para facilitar el reparto a la ubicación apropiada dentro de la instalación. Luego se carga el flete en los camiones remolque de salida. El proceso implica 5 millones de libras de flete cada semana.

Penske Logistics usa un diseño de ruta dinámico para incrementar la frecuencia de las recogidas de los proveedores, a la vez que se reducen los niveles de inventario y mejora el flujo del material de salida. Las computadoras de a bordo (usando tecnología vía satélite) permiten una continua comunicación de dos vías entre los conductores y los despachadores.

Al consolidar los envíos de entrada en el centro de distribución y enviando cargas de camión completas a las plantas, Penske fue capaz de disminuir los costos LTL de los camiones y de reducir la base de transportistas de GM. Penske Logistics selecciona y dirige a los transportistas necesarios para complementar la flota empleada. Esto ha reducido los costos administrativos de GM mediante el procesamiento de "una factura" para los servicios LTL y ha disminuido los tiempos de tránsito en 18 por ciento.[20]

Asociación mediante colaboración

Los beneficios de la organización no necesitan ser resultado de diseños formales o informales en los que las relaciones se definen entre las personas dentro de una organización. Según ha evolucionado la tecnología, ha surgido una nueva dimensión para la organización: la asociación mediante la colaboración. Las asociaciones entre los miembros del canal de suministros ocurren cuando se comparte información entre ellos para mutuo beneficio. Estos asociados colaboran para alcanzar sus propios objetivos organizativos, por lo general costos bajos a partir de la reducción de inventarios y mejor servicio al cliente a partir de tasas más altas de disponibilidad.

Asociarse con miembros de los escalones o niveles del canal de suministros ha tenido éxito cuando la información en el punto de venta minorista se compartía con los proveedores que eran más capaces de planear los niveles de inventario para minorista (control de inventarios manejados por el proveedor, o VMIC, por sus siglas en inglés) y con los planes de requerimientos compartidos con los proveedores en los sistemas justo a tiempo. Hubo primeros éxitos con la planeación de colaboración, y una organización llamada asociación voluntaria de estándares comerciales de la interindustria (VICS, por sus siglas en inglés) creó la planeación, el pronóstico y el reaprovisionamiento de colaboración

[20] "'Logistics' New Customer Focus", *Business Week,* 10 de marzo de 1997.

(CPFR, por sus siglas en inglés).[21] CPFR es un programa de información compartida que implica pronósticos, programas de producción, cantidades de reaprovisionamiento de pedidos y su entrega a tiempo, así como tiempos totales desde que se recibe el pedido, su programación y tiempo de entrega. La asociación VICS estableció líneas directrices para explicar los procesos de negocios subyacentes o fundamentales, la tecnología de apoyo y los asuntos de gestión del cambio.

La colaboración entre los miembros del canal tiene posibilidad de mejorar el desempeño de la cadena de suministros mediante reducción de la incertidumbre asociada con la demanda y los tiempos de espera. Recordemos el efecto "látigo" en el pronóstico de la demanda que surge cuando cada miembro del canal pronostica la demanda basado en la información derivada a partir de los patrones de pedidos de un miembro inmediato inferior. Se sabe que compartir información sobre la demanda del cliente final mejora la precisión de los pronósticos para todos los miembros. Un mejor pronóstico reduce los niveles de inventario en el canal de suministros.

Sin embargo, un programa como el CPFR anima a la colaboración más allá de los pronósticos. Aunque compartir información entre los asociados reduce la variabilidad en la estimación de la demanda, también necesitan tomarse decisiones sobre cantidades de pedidos, tamaños de envío, métodos de reparto y tiempos de respuesta de producción o de los proveedores. En un ambiente de asociados, la información sobre estos temas se compartirá y los resultados se negociarán. Comparados con las valoraciones tradicionales en las que cada miembro toma sus propias decisiones, los primeros resultados de estas pruebas piloto han sido impresionantes. De una investigación llevada a cabo por la asociación VICS, los participantes minoristas han informado lo siguiente:

- 80% de incremento en el negocio con un asociado CPFR
- Un incremento de $9 millones en ventas
- Un crecimiento de ventas y reducciones de inventarios de, al menos, 10% (simultáneamente)
- Tasas de surtido mejoradas con menos inventario
- Un nivel de servicio de 100% con casi 40 turnos por año[22]

Sin embargo, las asociaciones de colaboración se están adoptando lentamente. El mayor impedimento para su adopción masiva parece ser la *confianza*. Las compañías siguen reacias a compartir datos vitales con empresas fuera de su control y que pueden tener relaciones de negocios con sus competidores. Los acuerdos formales entre asociados pueden reducir la desconfianza, pero es probable que queden barreras por superar durante algún tiempo. Aun así, el potencial para las asociaciones de colaboración sigue siendo alto.

Observaciones

Los conceptos de planeación, pronóstico y reaprovisionamiento de colaboración se han probado de manera piloto en una serie de casos con los siguientes resultados:

- Wal-Mart colaboró con Warner Lambert en el enjuague bucal Listerine y halló que los niveles en existencia se incrementaron de 87 a 98%, los tiempos de entrega se redujeron de 2l a 11 días, el inventario disponible se redujo a dos semanas, los pedi-

[21] www.cpfr.org
[22] Walter McKaige, "Collaborating on the Supply Chain", *IIE Solutions,* Vol. 33, Núm. 11 (marzo de 2001), págs. 34-37.

dos eran más consistentes y los ciclos de producción transcurrieron sin sobresaltos. Las ventas de Listerine se incrementaron a $8.5 millones. De manera similar, las ventas de los artículos Sara Lee en la prueba piloto CPFR de Wal-Mart se incrementaron 32%, en tanto que los inventarios cayeron 14%. El desempeño en existencias mejoró 2% y el margen bruto del retorno a la inversión fue superior a 6 por ciento.

- Para dos cadenas anónimas y sus asociados comerciales, los resultados después de la colaboración mostraban para un participante minorista una ganancia promedio de ventas de 12%, y una reducción de inventario en el centro de distribución que promediaba 33% para el otro participante minorista.
- Una de las pruebas piloto de Kmart con Kimberly Clark dio como resultado 14% de incremento en las ventas, así como mejoría de las existencias que iba de 86 a 94%, sin incrementar el inventario.
- El CPFR de Walgreen con Schering-Plough para un producto laxante mostró mejoría en la precisión del pronóstico de 25 por ciento.
- En la prueba piloto CPFR de Ace Hardware con Manic, un proveedor de cintas, las ventas aumentaron 20%, los costos de flete disminuyeron 14% y los costos de distribución de Manic descendieron 28 por ciento.

Comentarios finales

Este capítulo ha mostrado los temas básicos de la organización de la logística y la cadena de suministros, y cómo lograr la coordinación y la cooperación entre las actividades, las funciones y las empresas, de manera que los planes logísticos puedan llevarse a cabo de manera efectiva. Guiados por el concepto de costo total, la organización facilita el desempeño logístico óptimo, excepto cuando el servicio al cliente o las estrategias de información son dominantes. La organización debería ser considerada en tres niveles. La agrupación de las actividades relevantes y su administración colectiva como una función logística han recibido la mayor atención. En algunos casos, los pagos han sido grandes a causa de esta realineación de actividades. Se ha dado mucha menos consideración a los problemas de cooperación, coordinación y colaboración interfuncional e interorganizacional. Los beneficios potenciales pueden exceder con mucho a los de la administración directa de las actividades. Sin embargo, lograr la cooperación entre las funciones dentro de la empresa y entre varias empresas más allá de sus fronteras legales, cuando la cooperación es probable que sea en gran medida voluntaria, es un problema de organización altamente complejo. Es indudable que en el futuro, la organización de la logística y la cadena de suministros en todos los niveles elegirá la cooperación como un tema general para la efectividad de la organización, más que simplemente seleccionar estructuras formalizadas de organización que crean tantos problemas de coordinación como los resuelven.

Como alternativa para desempeñar todas las tareas logísticas en la empresa, y por lo tanto necesitar organizaciones grandes de logística y cadena de suministros, muchas empresas han buscado contratar a terceros para las actividades logísticas o formar asociaciones logísticas y compartir sus sistemas logísticos con otras empresas. Los que están a favor han argumentado que dicha estrategia puede conducir a reducir los costos y a mejorar el servicio al cliente, a la vez que permite a la empresa enfocarse en sus fortalezas. Aquellos que se oponen a la estrategia citan pérdida de control de las actividades de logística y el deterioro resultante del servicio al cliente.

Preguntas

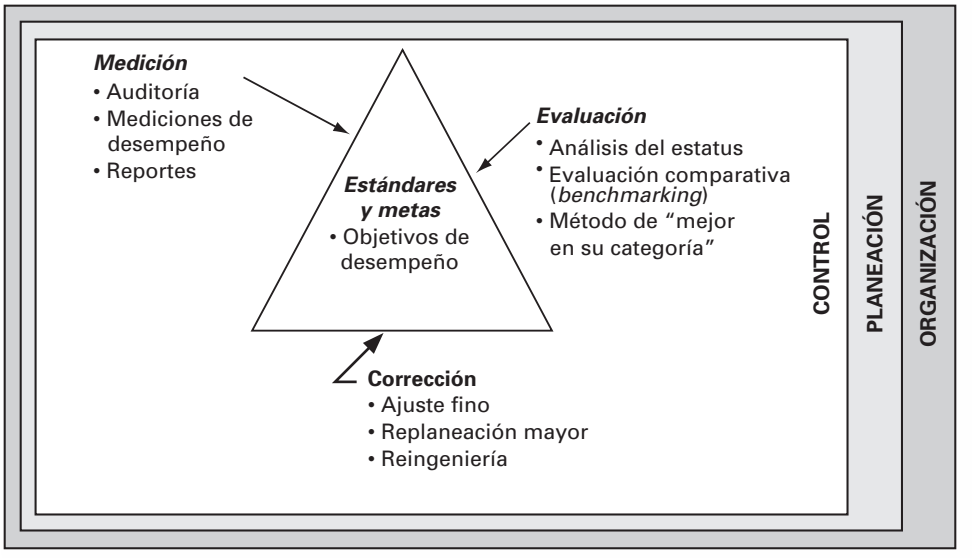
1. Explique por qué una empresa querría desarrollar un organigrama para la logística y la cadena de suministros.
2. Si una empresa no desea establecer una función logística separada e identificable, ¿cómo podría lograrse la coordinación necesaria para la dirección efectiva de las actividades logísticas?
3. Explique la diferencia entre una estructura lineal y otra de personal asesor para la logística.
4. ¿Qué criterios usaría para determinar si una estructura organizacional de la logística y la cadena de suministros debería ser centralizada o descentralizada?
5. ¿Qué responsabilidades, habilidades y experiencias incluiría en la descripción de un puesto de trabajo para el cargo de vicepresidente de logística y de la cadena de suministros para un fabricante de productos para el consumidor (digamos, de artículos domésticos)? ¿Cómo cambiaría su descripción (si es que cambia) si el puesto fuera para una gran clínica médica?
6. Indique las actividades de la empresa (como compras, transportación y control de inventarios) que deberían incluirse en la organización de la logística y la cadena de suministros, si la compañía fuera una de las siguientes:
   a. Miller Coal Mining Company (empresa extractora)
   b. Titusville Community Hospital (empresa de servicios)
   c. March Department Stores (empresa minorista)
   d. Romac Appliance Company (empresa manufacturera)
7. Si una empresa está en la etapa II de su desarrollo organizacional de la logística y la cadena de suministros, ¿qué se requeriría para pasar a la etapa III? ¿Y a la etapa IV? ¿Y a la etapa V?
8. ¿Por qué se consideran el servicio al cliente, el empaque y la programación de producción actividades de administración interfuncional? ¿Cómo pueden gestionarse con efectividad dentro de una empresa funcionalmente organizada? ¿Qué estructura de organización propondría para administrar la superorganización? Compare esa estructura con la de la dirección de actividades logísticas que están estrictamente dentro de los límites legales de la empresa.
9. ¿Qué es una superorganización? ¿Cómo se compara la dirección de una superorganización con la dirección de la función logística dentro de la empresa?
10. La tabla 15-1 indica que los beneficios del canal de distribución pueden ser mayores si los miembros individuales del canal cooperan a la hora de decidir las cantidades de compra de los pedidos y las políticas de fijación de precios, en vez de si actuaran solos. Dado que los beneficios de la cooperación tienden a "agruparse" en uno de los miembros, ¿cómo podrían éstos disfrutar del incremento de los beneficios y animarse a continuar con la cooperación?
11. Describa la situación dentro de una compañía donde se sugiera que
    a. Algunas o todas las actividades logísticas sean contratadas a terceros.
    b. La compañía busque un asociado para compartir su sistema logístico.
    c. La compañía tome activamente el liderazgo al formar una alianza logística.
    d. Todas las actividades logísticas sean dirigidas en la empresa.
12. Sugiera el tipo de información que deberían compartir los asociados del canal de suministros para favorecer la cooperación y mantener la confianza.
13. ¿Qué métodos están disponibles para distribuir los beneficios de la colaboración de los miembros del canal?
14. Describa brevemente el CPFR.

Capítulo 16

Control de la logística y de la cadena de suministros

El responsable de la logística es ahora gerente de procesos y no sólo un administrador de actividades.

Los planes de la logística y la cadena de suministros pueden realizarse y llevarse a cabo, pero por sí mismos no aseguran el cumplimento de los objetivos deseados. Es necesario considerar otra función principal de la dirección. Esta función es el control: proceso por el cual el desempeño planeado se regula o se mantiene regulado respecto de los objeti-



vos deseados. El proceso de control es aquél en el que se compara el desempeño real con el desempeño planeado y se inicia una acción correctora para acercarlos más, si se requiere. La auditoria proporciona la información necesaria para el control.

Este capítulo presenta una visión general de los procesos de control y auditoria, y analiza el control de la función logística y de la cadena de suministros y de las actividades logísticas y de la cadena de suministros. Se estudian los principales elementos de control de la información, la medición y la acción correctora. Se analiza la evaluación comparativa (*benchmarking*) y un modelo de referencia de operaciones de la cadena de suministros, útil para identificar oportunidades de mejora. Por último, se estudia la función que puede tener la inteligencia artificial en el proceso de control.

Estructura del proceso de control

La necesidad básica de una actividad de control en el proceso administrativo se concentra en las incertidumbres futuras que alteran el desempeño del plan. Ocurrirán variaciones de los parámetros de diseño a medida que múltiples fuerzas que actúan sobre las condiciones de cualquier plan no puedan ser pronosticadas con certeza. Además de lo que podría considerarse como variaciones normales de las condiciones se encuentran las contingencias. Éstas son las ocurrencias extraordinarias y únicas, por lo general de grandes proporciones (huelgas, incendios, inundaciones), que afectan drásticamente el desempeño de un plan. Además de la incertidumbre futura, también pueden ocurrir cambios fundamentales en el ambiente logístico o de la cadena de suministros que alterarán el desempeño planeado. Por ejemplo, en el momento de la planeación pudieron no haberse previsto cambios en las condiciones económicas, cambios tecnológicos o modificaciones en las actitudes de los clientes, pero pueden afectar al plan.

El proceso de control consiste, en parte, en la supervisión de las condiciones cambiantes con la anticipación de que pudieran necesitarse acciones correctoras para realinear el desempeño real con el planeado. La perfecta planeación y ejecución de planes no requeriría de ningún control. Ya que esto rara vez es posible, el responsable de la logística deberá proporcionar un mecanismo de control para asegurar el cumplimiento de los objetivos deseados.

Un modelo de control de la logística y de la cadena de suministros

El proceso de control administrativo es análogo a los muchos sistemas de control mecánico que se encuentran a diario. Quizás el más familiar sea el sistema de calefacción y ventilación en el hogar y las oficinas. El mecanismo de control es el termostato, el cual detecta la temperatura del aire, la compara con el nivel de temperatura deseado e inicia una acción correctora, si es necesario, solicitando calor a la caldera o aire frío del aire acondicionado. En el sistema logístico, el gerente busca controlar las actividades logísticas planeadas (transportación, almacenamiento, inventarios, manejo de materiales y procesamiento de pedidos) en términos de servicio al cliente y costos de actividad. El mecanismo de control incluye las auditorias y los informes sobre el desempeño del sistema, los objetivos establecidos para el desempeño y algunos medios para iniciar la acción correctora, los cuales con frecuencia son proporcionados por el encargado de la logística y la cadena de suministros. Este mecanismo de control, en relación con los factores asociados en

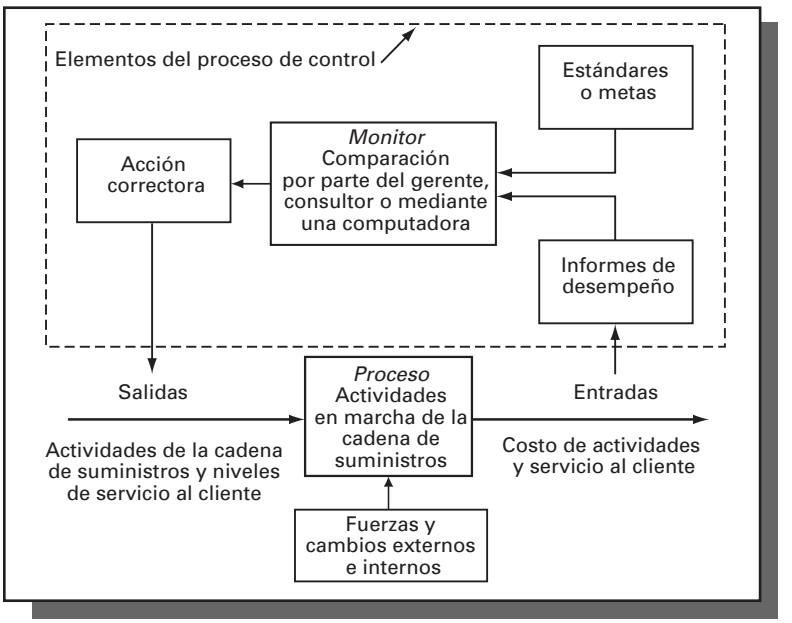


Figura 16-1
Representación esquemática del proceso de control de la logística y la cadena de suministros.

el proceso, se muestra en la figura 16-1. Los factores adicionales incluyen planes, actividades logísticas, influencias ambientales y desempeño.

Entradas, el proceso y la salida

El control del sistema de control se encuentra en el proceso que será regulado. Este proceso puede ser una sola actividad, como la atención de pedidos y el suministro de inventarios, o puede ser una combinación de todas las actividades en la función logística, tanto internas como externas. Existen entradas en el proceso en forma de planes. Los planes indican la forma en que el proceso deberá diseñarse. Ejemplos de esto son los planes para los tipos de transporte por utilizar, para el inventario de seguridad que se mantendrá, para el diseño del sistema de procesamiento de pedidos, o una combinación de todos estos, dependiendo de los objetivos para el sistema de control.

Las influencias ambientales son un segundo tipo de entradas del proceso. El ambiente incluye en forma amplia todos los factores que posiblemente afecten al proceso y que no son contemplados en los planes. Estos representan las incertidumbres que alteran la salida del proceso con respecto de los niveles planeados. Ejemplos de algunas de las influencias ambientales más importantes serían las incertidumbres en las acciones de los clientes, competidores, proveedores y gobierno.

La salida del proceso es lo que podríamos llamar, en general, como desempeño. El desempeño es el estado del proceso en cualquier momento particular. Por ejemplo, si el proceso es la actividad de transportación, entonces el desempeño podría ser medido en términos de costos directos, como tarifas de transporte, costos indirectos, como pérdidas, y daños o desempeño en la entrega.

El proceso, junto con sus planes de entrada y desempeño resultante, es el objeto del proceso de control. Estos factores son resultado de los procesos de planeación y realización, y se muestran en relación con la función de control en la figura 16-1.

Estándares y metas

La función de control requiere un estándar de referencia contra el cual se pueda comparar el desempeño de la actividad logística. El gerente, consultor o programa de computadora se esforzará para hacer corresponder el desempeño del proceso con este estándar, que por lo general es un presupuesto de costos, un nivel meta de servicio al cliente o una contribución a las utilidades.

Además de los estándares establecidos por los planes y políticas de la compañía, algunas empresas han elegido alinearse con estándares externos. El elevado interés en la calidad ha llevado a las empresas a establecer sus estándares de desempeño suficientemente altos para competir por premios de calidad, como el Premio Nacional de Calidad Malcolm Baldridge, la presea Deming, o el premio de Calidad J.D. Powers & Associates. Quizá los estándares más populares para el aseguramiento de calidad sean los de la Organización Internacional para la Estandarización (Internacional Organization for Standardization),[1] denominados ISO 9000.[2] Para el responsable de la logística, la calidad puede significar cumplir con los pedidos en forma precisa, contar con menos carencias de inventario o entregar el producto a tiempo. Las compañías alrededor del mundo buscan certificarse y promocionar que cumplieron con el criterio de certificación. Los clientes esperan esto de sus proveedores, ya que les asegura que los productos o servicios que reciben serán lo que esperan. Para el proveedor de productos o servicios, el criterio para estos reconocimientos de calidad o certificación ISO 9000 puede convertirse en el objetivo del proceso logístico.

El supervisor o monitor

El supervisor o monitor es el nervio central del sistema de control. Recibe información sobre el desempeño del proceso, la compara con la meta de referencia, e inicia una acción correctora (ver figura 16-1). En comparación con el termostato en el sistema de calefacción y de ventilación, las entradas de información al supervisor del sistema de control logístico no son con frecuencia tan sofisticadas electrónicamente. La información recibida por el supervisor es particular en forma de reportes y auditorias periódicas. Tal información típicamente incluye datos relativos al estatus del inventario, utilización de recursos, costos de actividad y nivel de servicio al cliente.

El supervisor en el sistema es el gerente, consultor o un programa de computadora. El supervisor interpreta y compara los informes de desempeño contra los objetivos de las actividades. Decide si el desempeño se encuentra fuera de control, y si es así elige los pasos correctores que deben tomarse para alinear el desempeño con los objetivos. Por ejemplo, si el servicio al cliente se encuentra demasiado bajo en comparación con el nivel de servicio deseado, el administrador podría solicitar que se mantuviera inventario de seguridad adicional en los almacenes. La naturaleza exacta de la acción correctora dependerá del grado de error del proceso de control y de lo permanente que espera el gerente que sea la corrección. Si el "error" entre el desempeño real y el deseado se encuentra dentro de límites aceptables, es muy probable que no se tome acción correctora. Por otro lado, si el error excede límites aceptables, el gerente podría elegir soluciones tácticas inmediatas y posiblemente temporales para reducir el error, o podría iniciar una planeación estratégica que altere el diseño del sistema. Será cuestión de criterio personal si el gerente busca una solución estratégica o tác-

[1] Federación mundial de organismos nacionales de estándares de aproximadamente 100 países, uno por cada país.
[2] Conjunto de cinco estándares universales para un sistema de aseguramiento de calidad aceptado alrededor del mundo.

tica. El conocimiento de tal individuo acerca de las causas de error influirá en su criterio personal; por ejemplo, si existe una variación aleatoria o cambio fundamental en el desempeño, si los beneficios que se obtendrán de una replaneación mayor compensan los costos involucrados, o si existe la necesidad de corrección rápida del error.

Tipos de sistemas de control

Los sistemas de control varían en su diseño. En general se catalogan en tipos de lazo abierto, de lazo cerrado o de retroalimentación modificada.

Sistemas de lazo abierto

El sistema más común para controlar las actividades logísticas es el sistema de lazo abierto de la figura 16-2(a). La característica más importante del sistema de lazo abierto es la intervención humana entre la acción de comparación del desempeño real con el deseado y la acción para reducir el error del proceso. El gerente debe intervenir en forma positiva antes de que pueda presentarse cualquier acción correctora. Por ello, se dice que el proceso de control está abierto.

Las principales ventajas del sistema de control de lazo abierto son su flexibilidad y bajo costo inicial. El gerente puede dictar a discreción el tipo de información necesaria para el control, la tolerancia de error que es aceptable en cualquier momento en particular y la forma de la acción correctora. Esta flexibilidad es particularmente benéfica cuando las metas, planes e influencias ambientales están sujetos a cambios frecuentes y cuando los procedimientos de control automatizado son costosos y limitantes. A la fecha, la mayor parte de las actividades logísticas, más la función en general, se encuentran bajo sistemas de control de lazo abierto.

Sistemas de lazo cerrado

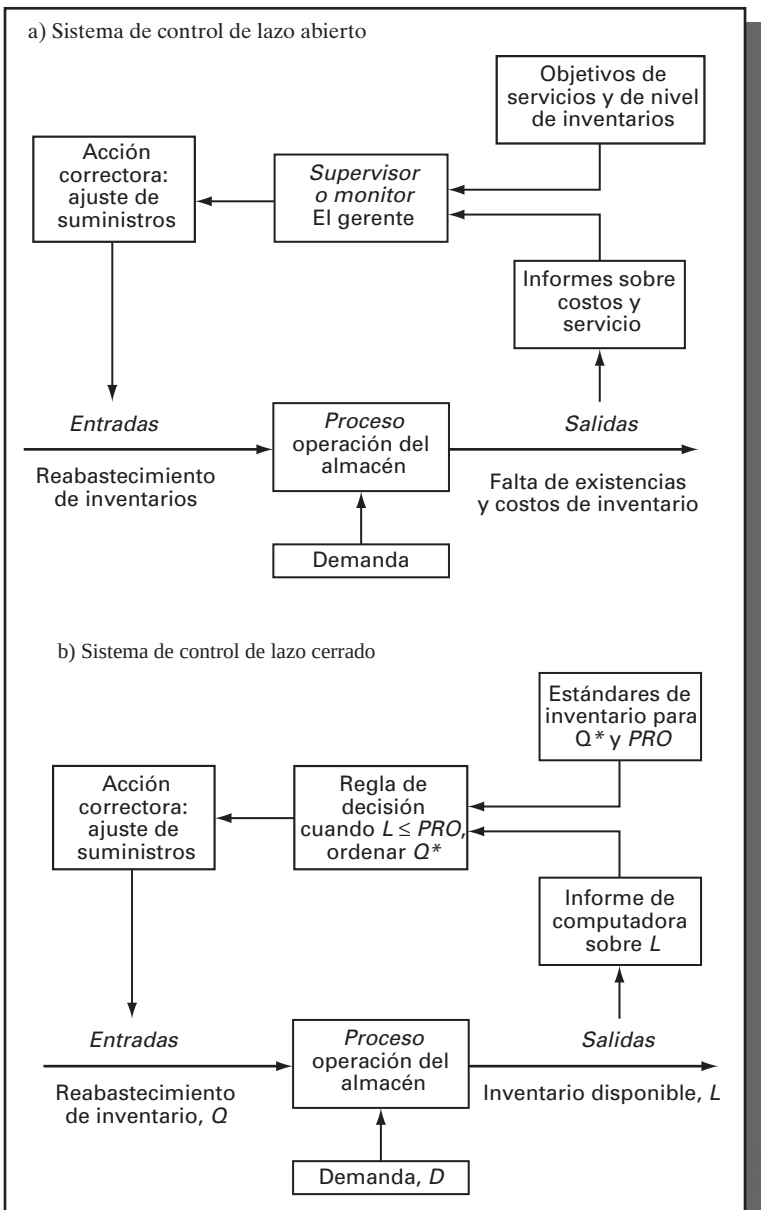
En años recientes se ha realizado mucha investigación para encontrar formas de reducir la necesidad del elemento humano en los procesos de control. Una buena parte de este trabajo se ha centrado en procesos físicos, como el control de temperaturas, voltajes, presiones, velocidades y ubicaciones. Tales dispositivos de control se denominan ampliamente como servomecanismos, reguladores o controladores. Sin embargo, sólo en fecha reciente se ha puesto atención al control similar de las actividades logísticas. El control automático de inventarios es el hecho más sobresaliente actual.

En el control de actividades logísticas, la regla de decisión se utiliza como sustitución del gerente en los sistemas de lazo cerrado. La regla de decisión actúa como lo haría el gerente si él hubiera observado el error de desempeño. Ya que se puede eliminar al gerente del proceso de control y el control será mantenido por las reglas de decisión, se dice que el sistema de control es cerrado.

Actualmente, el mejor ejemplo de un sistema de control de lazo cerrado en el manejo de la logística es el sistema de control de inventarios. En 1952, Simon sugirió que la teoría de los servomecanismos podía tomarse de su contexto eléctrico y mecánico, y aplicarse a los problemas de negocios, en especial a los problemas de control de inventarios.[3] No fue sino hasta que la computadora se convirtió en una herramienta útil para los negocios, que los sistemas de inventario pudieron controlarse exitosamente en forma automática. La

[3] Herbert A. Simon, "On the Application of Servomechanism Theory in the Study of Production Control", *Econometrica,* Vol. 20 (abril de 1952), págs. 247-268.

Figura 16-2
Ejemplos de distintos sistemas de control para el control de inventarios.



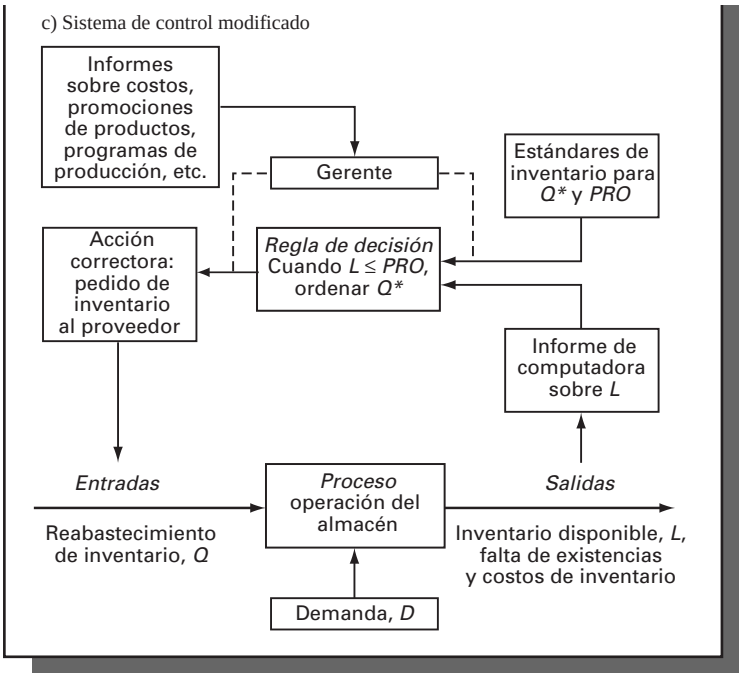


Figura 16-2 *(cont.)*

importancia de una buena dirección de inventarios para muchas empresas y la naturaleza cuantificable de los problemas de inventarios la han hecho una de las primeras actividades de la empresa para ser controlada por métodos de lazo cerrado.

La figura 16-2(b) muestra un sistema de control de lazo cerrado para el control de inventarios basado en el modelo de control de inventarios de cantidad fija de pedido-intervalo de pedido variable, con demanda constante y tiempo de espera. Se contrapone con el sistema de control de lazo abierto para el mismo problema de la figura 16-2(a). El proceso es mantener un inventario dentro de un almacén, desde el cual se atiende la demanda. La demanda continuamente reduce el inventario, y debe tomarse una acción positiva para reabastecerlo. En el sistema sencillo que estamos analizando, la salida del proceso es el inventario disponible. Recordando el modelo de inventario de punto de reorden del capítulo 9, podemos desarrollar el estándar de desempeño y la regla de decisión para la acción correctora. Es decir, cuando el inventario disponible cae por debajo de la cantidad de punto de reorden (*PRO*), la regla de decisión sería levantar un pedido de inventario de Q^* unidades. Si las condiciones permanecen iguales a las asumidas cuando la regla de decisión se desarrolló, el sistema de control asegurará un desempeño óptimo. Las actividades para llevar a cabo la regla de decisión, de informe continuo del inventario disponible y emisión del pedido de inventario pueden ser manejadas por una computadora.

En contraste con el sistema de control de lazo abierto de la figura 16-2(a), los sistemas de control de lazo cerrado tienen gran capacidad para controlar numerosos inventarios de productos con rapidez y precisión. Sin embargo, los sistemas de lazo cerrado tienden a ser rígidos en términos de cumplir condiciones cambiantes en sus parámetros de diseño.

También ofrecen control sobre una parte del proceso total, y en consecuencia pueden carecer de parte del alcance del sistema de lazo abierto. Por esto, la automatización puede tener flexibilidad reducida, alcance de control más limitado y mayor costo inicial, pero ofrece más velocidad y precisión de control.

Sistemas de control modificado

En las aplicaciones del mundo real, muy pocas cosas se llevan a cabo en su forma más pura, incluyendo los sistemas de control. Los gerentes son renuentes para transferir amplio control de una actividad o grupo de actividades a un conjunto de reglas de decisión. Las influencias ambientales son demasiado impredecibles como para esperar que un sistema de control automático permanezca aplicable durante todo el tiempo. Los gerentes incluso pueden tener un grado de desconfianza en las computadoras y modelos matemáticos. De hecho, una combinación de sistemas de control de lazo abierto y lazo cerrado (modificado) es lo que se utiliza con mayor frecuencia para el control de las actividades logísticas. El sistema modificado por lo general aparecerá como se muestra en la figura 16-2(c).

En un sistema de control modificado, el gerente en ocasiones puede sustituir las reglas de decisión. En el caso del problema de control de inventarios de la figura 16-2(c), el encargado de la logística y la cadena de suministros se encuentra en posición para tomar el control de las decisiones automáticas acerca de cuándo y cuánto ordenar. Por lo general tiene acceso a una base mucho mayor de información que el sistema de control automático y se encuentra en posición de juzgar el desempeño del sistema de control. Tal información puede incluir quejas del servicio al cliente, informes de costos del inventario, anuncios promocionales de marketing, cambios en el servicio de transporte y modificaciones en la programación de la producción. Ya que el sistema de control automático en general no responde a este tipo de información, podría no asegurar un desempeño óptimo del inventario. Por esto, el responsable de la logística puede intervenir en el proceso de control, ya sea para realizar ajustes menores en la regla de decisión, en el estándar de referencia o en la información base, y puede realizar cambios grandes en el sistema de control y el diseño del proceso. Si el sistema de control se encuentra bien diseñado, sólo serán necesarios ciertos ajustes menores. Por ejemplo, podría necesitarse un nivel de inventario mayor al ordinario para promociones temporales de un artículo, y el responsable de la logística puede pasar por encima del sistema de control automático solicitando mayor cantidad del pedido para el artículo que la que sugeriría el sistema automático.

El gerente en un sistema de control modificado no sólo añade flexibilidad y alcance al sistema, sino que también actúa como válvula de seguridad en caso de que el sistema automático falle. De hecho, el sistema de control modificado ofrece ventajas en el control de actividades complejas, sin requerir que el administrador renuncie a la dirección administrativa sobre el sistema. Esto sin duda es motivo de su utilización por encima de los sistemas de control de lazo abierto y lazo cerrado.

Detalles de un sistema de control

Una vez que se ha definido ampliamente el tipo de sistema de control para actividades independientes en la función logística completa, es necesario considerar varios detalles del sistema, los cuales incluyen la tolerancia del sistema al "error", la naturaleza de la respuesta del sistema, el establecimiento de metas y la naturaleza de la información de control.

Tolerancia al error

¿Qué tan grande debe ser el error de desempeño antes de que se inicie la acción correctora? Sólo porque los costos de la actividad logística son demasiado altos y el nivel de servicio al cliente es demasiado bajo, no significa que deba iniciarse una acción correctora. La acción correctora consume tiempo de dirección de la empresa, en especial si el sistema de control es del tipo de lazo abierto, de manera que para tomar acciones correctoras para reducir el error cuando es innecesario ocasiona gastos que no se requieren. La acción correctora es innecesaria cuando el error se debe a eventos aleatorios ordinarios y no se presentaron cambios fundamentales en el desempeño promedio del proceso. De hecho, un sistema de control que tiende a seguir cualquier ligero error de desempeño puede tener la característica de ser de tipo "nervioso". En general, un sistema de control no debe ser diseñado para responder a errores aleatorios.

En contraste con una tolerancia mínima al error se encuentra el sistema de control que cuenta con demasiada tolerancia al error. Si el supervisor de control o monitor, digamos el gerente de la logística y la cadena de suministros, es demasiado insensible a los errores de desempeño, es posible que pierda de vista cambios fundamentales en el servicio al cliente y en los costos de las actividades hasta cierto tiempo después de que éstos se hayan presentado. Traer al proceso de vuelta bajo control podría requerir alteraciones drásticas en los niveles de actividad, incluso en casos donde ajustes menores hayan demostrado ser satisfactorios si los cambios fundamentales se hubieran detectado antes. Por esto, el resultado de que el sistema de control esté diseñado para ser demasiado insensible al error puede resultar en exceso de control.

El mejor diseño de sistema de control será obviamente aquél que se encuentre entre estos dos extremos. Es decir, el mejor sistema será el que detecte errores fundamentales pero no responda ante errores aleatorios.

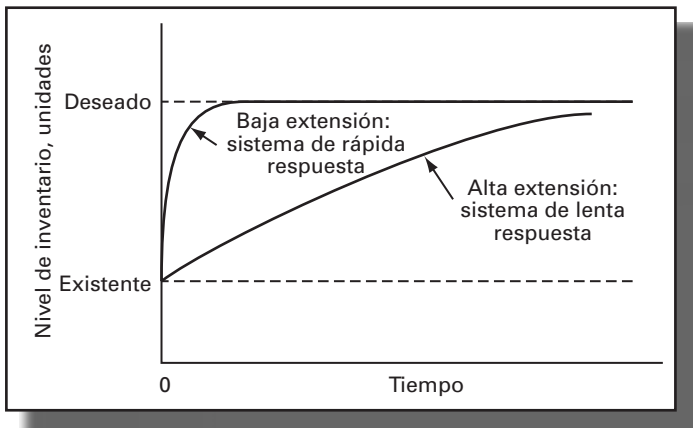
Respuesta

Cuando el error dentro de un sistema de control ya no sea tolerable, deberá tomarse una acción correctora. La forma en que el sistema responde a una acción correctora afectará a los costos de control. La respuesta es una función de las características del sistema y de la forma en que se toma la acción correctora.

Los sistemas de control logístico son muy parecidos a los sistemas de control mecánico en cuanto a que tienen distintos grados de tamaño, dimensión o extensión. La extensión de un sistema gobierna la velocidad con la que ocurrirá la corrección real del error y el patrón de respuesta del proceso. En un sistema logístico, la extensión determina la velocidad a la que puede realizarse el cambio necesario. Por ejemplo, si los niveles de inventario deben elevarse, el tiempo requerido para obtener los niveles deseados estará en función de la velocidad a la que pueden modificarse los niveles de producción o a la que pueden obtenerse las cantidades necesarias de los proveedores. Cuanta más extensión tenga un sistema, mayor será el tiempo antes de que se alcancen los niveles deseados, y durante más tiempo prevalecerá la situación fuera de control. La figura 16-3 ilustra el efecto de la extensión sobre la respuesta del sistema.

Las *demoras de tiempo de información* son un segundo factor importante en el patrón de respuesta. En general, cuando existe demora de tiempo entre el momento en que ocurre un cambio en el proceso y el instante en que es detectado el cambio en el monitor de control, el sistema tenderá a "perseguir", como se muestra en la figura 16-4. Es decir, el sistema de control nunca puede estabilizarse en el nivel deseado. Si las demoras de infor-

Figura 16-3
Velocidad de respuesta en un sistema de control de inventarios, dependiendo de la extensión o tamaño del sistema.

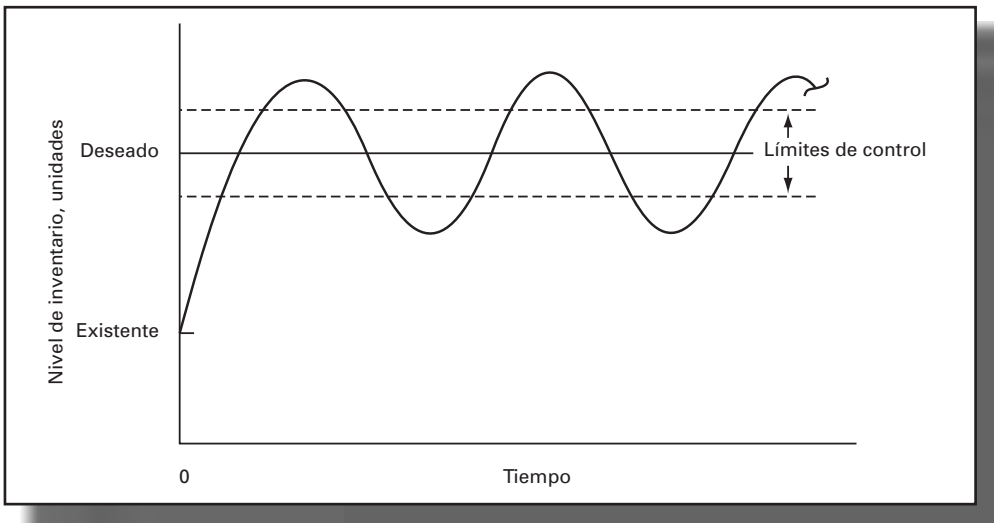


mación, así como la extensión del sistema, no son demasiado grandes, la variación alrededor del nivel deseado permanecerá dentro de límites aceptables. Si no es así, será necesario diseñar un sistema de información más sensible, o tal vez un sistema de entrega y producción más sensibles.

La respuesta del proceso también es influida por la forma en la que se toma la acción correctora. Hay dos modos de control comunes. El más popular es el modo encendido-apagado o de dos posiciones. Cuando se detecta un error, se toma una acción correctora completa y constante hasta que se observa, por parte del supervisor o monitor, que se ha alcanzado el nivel deseado. Si la extensión del sistema y las demoras de información son grandes, el modo de control encendido-apagado fomenta "excederse" del nivel de desempeño de proceso deseado.

El sistema de control *proporcional* es el segundo modo de control más familiar. Aquí, la acción correctora está en proporción directa con el error observado. Cuando el error es

Figura 16-4 Sistema de control en persecución ocasionado por demoras de tiempo de información.



grande, también lo es el cambio en el nivel de entrada al proceso para reducir el error. A medida que el error se reduce, también lo hace el cambio en las entradas del proceso. Un sistema como este es más sofisticado y más costoso que un sistema de encendido-apagado, pero puede justificarse en términos de una respuesta más rápida del sistema sin pérdida de la estabilidad del desempeño del proceso.

El control en la práctica

Los sistemas de control logístico se han apoyado en el uso de presupuestos, metas de servicio e incluso en el concepto de centros de utilidades. Existe uso creciente de la computadora para apoyar al proceso de control mediante lo que se conoce como sistemas de apoyo para la toma de decisiones.

Presupuestos

El soporte más ampliamente utilizado para controlar actividades logísticas es el presupuesto. Los presupuestos son objetivos de costo establecidos por la alta dirección conjuntamente con el gerente de la logística y la cadena de suministros para guiar el desempeño de costos de las actividades. Los presupuestos funcionan como el estándar de referencia en el proceso de control, y para asegurar la rentabilidad de la compañía mediante el control de los costos. También funcionan como dispositivo para medir el desempeño del encargado de la logística y la cadena de suministros.

Los presupuestos deben establecerse en forma realista si se espera cumplir con los objetivos de utilidad de la empresa. Casi todo presupuesto podrá cumplirse si el grado de servicio al cliente se reduce a niveles suficientemente bajos. Sin embargo, si se asume que la empresa desea permanencia a largo plazo, el nivel de servicio logístico deberá establecerse lo suficientemente alto para asegurar al menos un nivel de servicio competitivo.

Objetivos de servicio

En oposición al presupuesto están las metas de servicio al cliente. Las metas de servicio al cliente se enfocan en el lado de ingresos de la ecuación de utilidad. La filosofía de control al establecer el estándar de referencia de control igual a la meta de servicio es que los costos tenderán a seguir a los ingresos. Este método será razonable en casos donde las ventas de los productos sean altamente sensibles al servicio (por ejemplo, en productos de bajo valor y altamente sustituibles). Sin embargo, existe una importante deficiencia al utilizar las metas de servicio como dispositivo de control. Con frecuencia, se conoce muy poco acerca del efecto de los cambios en el servicio de distribución física sobre los ingresos.

Concepto de centro de utilidades

Un método atractivo para el control de la logística es tratar la función logística como una entidad de negocio independiente dentro de la empresa, es decir, como un centro de utilidades. Esto tiene sentido, ya que la función logística utiliza capital, incurre en costos y añade valor mediante la distribución. Incluso contribuye a las ventas mediante el nivel de servicio al cliente proporcionado. Existen todos los elementos previos para establecer un centro de utilidades. El control de la función logística se da en términos del concepto más amplio de utilidades y evita las características de control más estrechas de los presupuestos o metas de servicio.

Hacer que el concepto de centro de utilidades funcione es más difícil que el uso de presupuestos o metas de servicio. El principal problema se encuentra en la fijación de precio del servicio proporcionado por la función logística. La fijación de precios no sería un problema si existiera alguna forma de relacionar el nivel del servicio al cliente proporcionado y la contribución hecha a las utilidades de la función logística. Si se conociera tal relación, el encargado de la logística y la cadena de suministros podría balancear el ingreso contra los costos incurridos al proporcionar el servicio. Tal relación por lo general no existe. Incluso si existiera, quedaría otro problema antes de que el concepto de centro de utilidades pudiera aplicarse en forma efectiva. Es decir, tendrían que determinarse los precios para los productos de entrada a la función logística.

El establecimiento del precio de los servicios logísticos y de los precios pagados por los productos que serán manejados por la función logística por lo general no es un problema serio. Se pueden establecer precios de transferencia en la misma forma en que se fijan los precios para los bienes que se desplazan de una división a otra en una compañía multidivisional. La producción fijaría el precio de los bienes para la logística y ésta, después de añadirle valor, establecería el precio de los bienes a marketing. El precio para marketing sería el precio pagado a producción más los costos logísticos incurridos en el suministro y distribución más un margen equivalente al rendimiento general de la compañía sobre la inversión. Una vez que los precios se establecieron, el encargado de la logística y la cadena de suministros será libre para mejorar las utilidades en cualquier forma que lo desee. La alta dirección evalúa al gerente de logística y la cadena de suministros mediante el desempeño en las utilidades, y periódicamente revisa el establecimiento de los precios de transferencia.

Sistemas de apoyo a la toma de decisiones

Los sistemas de apoyo a la toma de decisiones (DSS, por sus siglas en inglés) implican el uso de una computadora, sistemas de base de datos, y modelos de decisión o control. Se mantiene una base de datos en línea con los elementos relevantes necesarios para propósitos de control. Estos pueden incluir tarifas de transportación, pronósticos de demanda, tiempos de espera, niveles de inventario, costos de almacenamiento y metas de servicio. La computadora se utiliza para consultar esta base de datos por instrucción del usuario. En integración con el DSS hay numerosos modelos y programas generadores de informes útiles para vigilar las actividades en curso. En estos programas se consulta la base de datos para información cuando se revisan los niveles de actividad. Además de generar los informes de actividad, el DSS tiene la capacidad de determinar el mejor nivel de desempeño, el cual funciona como un estándar contra el que puede compararse el desempeño actual. Esta última capacidad distingue al DSS de un sistema manual.

Aplicación

Cuando Xerox encontró necesario recortar sus costos con objeto de poder competir en mercados con precios en rápida caída, la compañía tuvo que conocer la forma de motivar al personal en los niveles administrativos más bajos para perseguir los objetivos de costos deseados. Logística y distribución (L&D) funcionaban como un centro de costos del grupo de sistemas de negocio de Xerox. Se tomaron medidas para hacer que este grupo emulara el comportamiento de un centro de utilidades al proporcionar el servicio por una tarifa y al incurrir en costos asociados con los servicios proporcionados. Se permitió a L&D ofrecer sus servicios a otras unidades de Xerox sobre una base competitiva. De hecho, los 1200 empleados de L&D actuaban como “emprendedores”.

Se tomaron cuatro medidas necesarias para lograr el estatus de centro de utilidades del grupo L&D:

1. Establecer una evaluación comparativa (*benchmarking*) Ya que el centro de utilidades de L&D debía proveer servicios a precios competitivos, fue necesario conocer normas establecidas para gastos y niveles de servicio en relación con sus competidores. Se reunió información de proveedores y compañías con operaciones tanto similares como diferentes. La información se representó en forma de índices con objeto de neutralizar las diferencias entre las fuentes de información.

2. Negociar niveles de servicio L&D contactó a los clientes cautivos dentro de su propio grupo para establecer metas de niveles de servicio. L&D estableció un programa de tarifas de gastos para distintos niveles de servicio, lo que ayudó al proceso de selección.

3. Hacer ofertas para negociar Se permitió a L&D hacer ofertas para negociar en otros grupos de negocio. Ya que cada grupo tenía su propia organización de distribución, cualquier negocio obtenido representaba un claro ahorro para Xerox.

4. Vender a externos L&D también podía vender sus servicios a clientes externos. El servicio ofrecido era una red completa de servicios o elementos de distribución, como transportación o almacenamiento.

Un incremento en la moral, la iniciativa y el profesionalismo de los empleados fueron beneficios claros de un centro de utilidades. Además, Xerox pudo promediar 12% de mejoras en productividad durante el periodo de tres años que siguió a la introducción del concepto de centro de utilidades para L&D.[4]

Información de control, medición e interpretación

Un sistema de control logístico efectivo requiere información precisa, relevante y oportuna sobre el desempeño de la actividad o función. Las principales fuentes de esta información son las auditorías y los distintos informes de actividades logísticas.

Auditorías

La auditoría logística es una revisión periódica del estado de las actividades logísticas. Debido a los posibles errores en los sistemas de informes y a la falta de daros sobre ciertas actividades, resulta necesario efectuar en forma periódica un inventario de la situación. Un sistema de control puede perder su efectividad si la información disponible es imprecisa. La información de auditoría se utiliza para establecer nuevos puntos de referencia, contra los que se generan datos, y para corregir errores resultantes del desempeño de ciertas actividades logísticas debido a información errónea.

[4] Parafraseado de Frances G. Tucker y Seymour M. Zivan, "A Xerox Cost Center Imitates a Profit Center", *Harvard Business Review* (mayo-junio de 1985), pág. 16 en adelante.

Auditoría de función total

De cuando en cuando, la dirección de la empresa puede encontrar necesario efectuar un inventario de la forma en que se está manejando la función logística en general. La dirección requiere convencerse a sí misma que las actividades logísticas se están llevando a cabo de manera efectiva y eficiente. Una auditoría de este tipo puede incluir una evaluación de todo el personal, de la estructura organizacional y del diseño general de la red. El diseño de la red puede ser auditado en forma eficaz mediante el análisis de los determinantes generales del diseño del sistema logístico. Los cambios sustanciales en la demanda, el servicio al cliente, las características de los productos, los costos de logística y las políticas de precios pueden señalar la necesidad de una revisión estratégica.

Demanda. La dispersión geográfica y el nivel de demanda determinan en gran medida la configuración de las redes de distribución. Las empresas pueden proyectar un crecimiento o disminución desproporcionados en una región del país en comparación con un crecimiento o disminución general. Esto último puede requerir sólo la expansión o recesión en las instalaciones actuales. Sin embargo, los patrones de demanda cambiantes pueden requerir que se ubiquen nuevos almacenes en mercados de rápido crecimiento, en tanto que las instalaciones en áreas de bajo crecimiento experimentan baja o nula expansión. El crecimiento desproporcionado de sólo unos cuantos puntos porcentuales al año indica que una replaneación puede se económicamente benéfica.

Servicio al cliente. Por lo general incluye la disponibilidad del inventario, velocidad de entrega, y velocidad y precisión en el cumplimiento de pedidos. Los costos de transportación, almacenamiento, mantenimiento de inventario y procesamiento de pedidos se elevan en forma desproporcionada a medida que los niveles de servicio se incrementan. Por esto, los costos de logística serán sensibles al nivel ofrecido de servicio al cliente, en especial si el nivel de servicio ya es alto.

En general se requerirá replaneación cuando los niveles de servicio se modifiquen debido a fuerzas competitivas, revisiones de políticas o metas arbitrarias de servicio, distintas de las que originalmente se basó la estrategia logística. Por lo contrario, los cambios menores en los niveles de servicio, cuando el servicio se encuentra bajo, tal vez no disparen la necesidad de replaneación.

Características del producto. Los costos de logística son sensibles ante el peso, el volumen, el valor y el riesgo del producto. Dentro del canal, estas características pueden alterarse mediante el diseño del empaque y el estado final del producto durante el envío y el almacenamiento. Por ejemplo, enviar un producto en forma comprimida puede afectar considerablemente la proporción peso-volumen del producto y las tarifas relacionadas con transportación y almacenamiento. Sin embargo, alterar una característica del producto puede cambiar de manera importante un elemento de costo de logística sin afectar a otros. Esto creará un nuevo punto de equilibrio de costos para el sistema de distribución. Si esto sucede, estaría indicada una replaneación.

Costos logísticos. La cantidad de dinero que una empresa gasta en logística con frecuencia determina la frecuencia con la que debe replanearse la estrategia. Si se mantienen todos los demás factores constantes, una empresa que produce bienes de alta ingeniería (como máquinas-herramientas y computadoras), con costos totales de distribución de 1% de las ventas o menos, pondrá baja atención a una estrategia logística. Por otro lado, las compañías que producen químicos industriales empacados o productos alimentarios pueden tener costos de distribución física tan altos como de 20 a 30% de las ventas. Cuan-

do los costos son tan altos como éstos, incluso pequeños cambios en los costos de mantenimiento de inventario y tarifas de transportación pueden hacer viable una reformulación de la estrategia logística.

Política de fijación de precios

Algunos proveedores transfieren la responsabilidad y el costo de la transportación a los compradores, tomando de esta manera decisiones acerca de importantes elementos de los costos logísticos fuera de sus manos. Muchas empresas realizan esto mediante políticas de fijación de precios, como instalación libre a bordo, cargos de transportación prepagados, y complementos a las facturas. Ya que estas empresas no pagan la transportación, existe muy poco incentivo para incluirla como una fuerza económica en el establecimiento de la estrategia logística. Si se cambia la política de precios a un acuerdo de entrega (costos de transportación incluidos en el precio), la empresa proveedora directamente incurrirá en los cargos de transportación. Esto puede agregar almacenes e inventario al sistema logístico. La modificación de los términos de la política de precios, en especial el direccionamiento y las cantidades de envío, y el cambio en la responsabilidad de la decisión de transportación, pueden ser señales de la necesidad de una reformulación de la estrategia.

Auditorías de inventario

Las auditorías de inventario son esenciales en los sistemas de inventario. Un sistema típico de control de inventarios realizará ajustes a los registros del inventario debido a la reducción drástica de la demanda, reabastecimientos, devoluciones a la planta y obsolescencia del producto. Sin embargo, la ocurrencia de otros eventos puede causar disparidades entre los registros de inventario y los inventarios reales mantenidos en los almacenes. Hurtos, devoluciones de los clientes, bienes dañados y errores en distintos informes de inventario pueden llevar a errores sustanciales en el nivel de inventario que se cree que está disponible. Un conteo físico de inventarios de cuando en cuando determinará el nivel real de todos los artículos. Luego se realizarán ajustes a los registros de inventario de manera que nuevamente el sistema de control proporcione un registro más preciso de los niveles de inventario.

Emprender un conteo físico de cada artículo dentro de un inventario puede consumir mucho tiempo y puede ser perjudicial para las operaciones. Algunas empresas cierran sus operaciones anualmente mientras el conteo está en marcha. Como alternativa al conteo anual de todos los artículos, es posible contar sólo una fracción de éstos en un momento particular, con tiempos para un conteo escalonado en el año. La frecuencia con la que un artículo se cuenta puede establecerse de acuerdo con lo crítico de este artículo. El proceso del ciclo de conteo dispersa la carga de trabajo de la auditoría durante todo el año y ocasiona menores perjuicios en las operaciones.

Auditorías de facturas de transporte

Los errores humanos comúnmente ocasionan el desembolso extra de realizar auditorías. En el control de los costos de transportación, muchas empresas han encontrado que vale la pena auditar sus facturas de transporte. Errores en las tarifas, en la descripción del producto, en los pesos y las rutas son sólo algunas de las formas en que los errores se introducen en la facturación. Es común para una empresa grande que tenga hasta 750,000 facturas de transporte por año, e incluso errores no frecuentes pueden ocasionar cuantiosos sobrecargos. Existe 3 a 5% de sobrecargo en las facturas de transporte en una base anual.

La verificación de las facturas de transporte puede llevarse a cabo por el departamento de tráfico de la compañía; sin embargo, muchas empresas prefieren realizar esta auditoría

en forma externa por empresas de auditoría de facturas de transportación. Estas empresas ofrecen este servicio sobre una base de comisiones. Es decir, la empresa auditora recibe un porcentaje de las reclamaciones que se recuperan. Realizar un contrato con una agencia externa resulta particularmente benéfico para la empresa pequeña que no puede proporcionar de manera eficiente personal para esta actividad. Tan frecuentes son los errores que la auditoría de facturas de transporte a menudo se realiza en una base regular. El costo de tener auditadas las facturas de transporte por lo general es de 50% del monto recuperado.

Evaluación comparativa con otras empresas

Cuando se realizan las auditorías es común preguntarse lo bien que la logística y la cadena de suministros de la empresa se desempeñan en comparación con su competencia. Se busca información del desempeño de costos y de servicio al cliente para empresas en negocios similares. Tal información se halla disponible mediante encuestas. Por lo regular, las universidades, asociaciones comerciales o empresas consultoras se han vuelto depositarios de tal información presentada por muchas empresas. El anonimato de la información de una empresa individual estará protegido cuando los resultados son presentados en promedios y rangos. Por ejemplo, la figura 16-5 muestra los costos totales de la cadena de suministros como un porcentaje del ingreso para una variedad de industrias. Ya que se presenta la categoría de mejor en su clase, este nivel de desempeño puede utilizarse como referencia contra la cual comparar. También puede disponerse de otra información además de los costos, como índices de rotación de inventarios, estadísticas de entregas a tiempo y costos de actividad logística.

Aunque resulte atractiva la evaluación comparativa de esta forma debe utilizarse con precaución. Una empresa que no se desempeñe tan bien como la mejor en su clase, o incluso tan bien como la empresa promedio en su industria, debe reconocer que pudo haber escogido balancear sus ventajas y desventajas en forma diferente. Por ejemplo, una empresa con un bajo índice de rotación de inventario puede estar ahorrando en transportación al despachar en grandes cantidades. El desempeño del costo de transportación

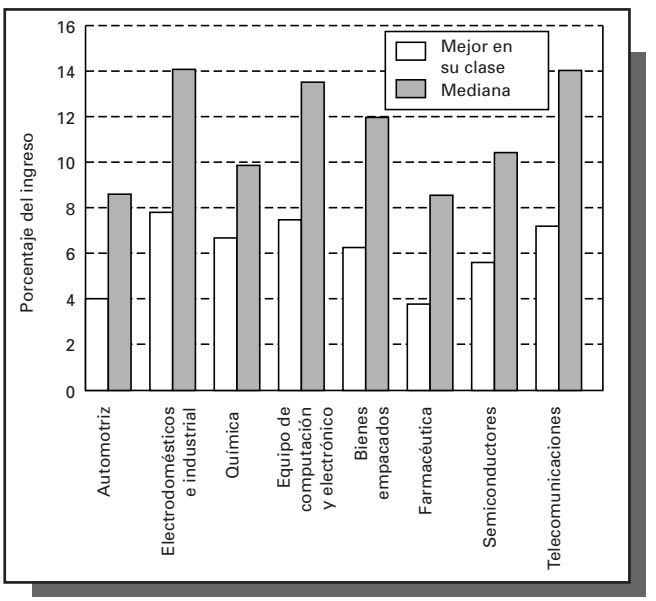


Figura 16-5
Costos totales de la cadena de suministros como un porcentaje del ingreso, para industrias seleccionadas.

Fuente: Pittiglio, Rabin, Todd & McGrath, "The Keys to Unlocking Your Supply Chain's Competitive Advantage: Integrated Supply-Chain Benchmarking Study" (1997), pág. 4.

puede ser bastante bueno, pero los costos de mantenimiento de inventario pueden estar altos. De igual manera, los costos logísticos pueden estar altos, pero quizá se esté proporcionando un excepcional servicio al cliente. A menos que el servicio al cliente se compare con los costos, la empresa con los altos costos logísticos puede aparecer con subdesempeño.

Ejemplo

Premier Industrial distribuye lubricantes a sitios de construcción que se encuentren en un rango de hasta 600 millas del almacén. Premier encontró un rentable nicho de mercado al suministrar a sus clientes lubricantes en pequeñas cantidades y con rápida respuesta. En comparación con las grandes compañías petroleras utilizadas como evaluación comparativa, los costos logísticos de Premier aparecen muy altos. Cuando se compara el servicio al cliente, la logística se utilizó como clave de su estrategia de marketing. Premier ha sido durante muchos decenios una de las compañías más rentables en forma más consistente del índice Fortune 500.

La evaluación comparativa se ha definido como un proceso con pasos definidos. Es un proceso continuo de medición y evaluación del desempeño y de las prácticas de la cadena de suministros contra otras en la industria. El propósito es identificar diferencias que puedan llevar a mejoras. La evaluación comparativa se realiza a nivel de métricas de desempeño, procesos o estrategias. Aunque el tipo de medición de desempeño utilizando métricas ya se ha analizado anteriormente, los procesos y estrategias de la evaluación comparativa implican la comparación de elementos, como tecnologías de información utilizadas, métodos para atender pedidos de los clientes, políticas de transportación y administración del inventario, estrategias de fabricación para inventario y fabricación para pedido, así como configuración de la red. Se han recomendado cinco pasos para realizar un análisis de evaluación comparativa:

1. Recopilar y analizar la información de referencia.
2. Identificar y reunir información sobre las compañías con mejores prácticas.
3. Identificar y analizar las brechas de desempeño.
4. Desarrollar un plan para cerrar las brechas de desempeño de procesos.
5. Llevar a cabo el plan.[5]

La recopilación y el análisis de la información de referencia implican el mapeo (descripción) y la revisión de la cadena de suministros actual. La información se integra en medidas clave de desempeño y los procesos se describen utilizando mapas, diagramas de flujo, figuras y tablas. La recopilación de la información debe enfocarse en identificar los síntomas de un subdesempeño y las causas para los problemas de desempeño. Puede ser de utilidad la preparación de una forma de recopilación de información que enumere preguntas clave.[6]

La recopilación de información sobre las mejores prácticas puede ser la parte más desafiante del proceso de evaluación comparativa. Es poco probable que los competidores compartan su información, por lo que los datos de las encuestas pueden no separar la información de la mejor práctica de los resultados generalizados. No obstante, la información buscada deberá ser análoga a la de la información de referencia y a las causas de problemas observadas en el paso 1. Es necesario identificar compañías de alto desempeño que reflejen características similares a las de la referencia.

[5] Sandor Boyson, Thomas M. Corsi, Martin E. Dresner y Lisa H. Harrington, *Logistics and the Extended Enterprise* (Nueva York: John Wiley & Sons, 1999), págs. 168-170.
[6] Para un ejemplo ver Boyson *et al*., *op.cit*., págs. 201-219.

El tercer paso es comparar la información de referencia con la de la evaluación comparativa y de las empresas de mejores prácticas para observar diferencias y medir la magnitud de la brecha. Las brechas se pueden presentar en mediciones de desempeño, como costos de transportación o ritmos de atención de artículos. Además, la compañía base puede estar subcontratando las actividades logísticas con una empresa logística de terceros, en tanto que la empresa de mejores prácticas administra su propia transportación, lo cual muestra una diferencia en la estrategia.

A continuación se requiere un plan para cerrar las brechas observadas en el paso 3. No todas las brechas observadas tendrán igual importancia, por lo que se les asignará una prioridad. Pueden utilizarse muchos criterios, como el mayor impacto en los ingresos, la mayor reducción de costos, la mayor mejora en el servicio al cliente y la facilidad para llevar a cabo un rápido rendimiento. Quizá se requerirá la aprobación de las iniciativas por la alta dirección, por lo cual deberán presentarse criterios importantes para estos directivos. A este nivel de dirección interesará la evaluación de los planes sobre: 1) el monto de flujo de efectivo generado; 2) la reducción de costos, y 3) el rendimiento sobre la inversión.

El paso final es llevar a cabo los planes. Deberá considerarse un defensor del plan o una estructura organizativa para supervisar el desempeño. Se requiere un programa para sincronizar las distintas fases y para coordinar el entrenamiento, la disponibilidad del recurso temporal, etcétera. También es útil medir el cambio de desempeño contra la referencia.

Otras auditorías

También pueden llevarse a cabo otras auditorías sobre una base regular. La utilización del espacio de almacenamiento, los niveles de servicio al cliente, la utilización de la flota de transporte y el desempeño de la política de inventarios representan áreas específicas que pueden auditarse. Todas proporcionan información básica para un control efectivo de la logística.

Observación

La tecnología tiene una función importante al proporcionar información para la medición y el control de las operaciones. Tómese, por ejemplo, el control de las entregas por camión y la entrega a tiempo. Las prácticas de justo a tiempo requieren que se conozca el progreso de las entregas de camiones con precisión, ya que los envíos retrasados a los clientes pueden detener sus operaciones que cuentan con muy poco o ningún inventario. Con el alto costo del transporte por camión, resulta imperativo controlar cuidadosamente los costos. En muchos equipos ahora existe una antena de transmisión de información que vigila en todo momento la ubicación del camión, muy adecuada para proyectar los tiempos de llegada. Además, existe otro equipo electrónico que ayuda a controlar los costos. Una tarjeta de crédito especial ayuda a la compañía a verificar que los conductores carguen combustible sólo en paradas aprobadas. El monitoreo electrónico del motor controla la velocidad máxima, los cambios de marcha y los tiempos máximos inactivos. Si el conductor abandona el camión, el motor se detiene. Los teléfonos celulares son comunes en muchos camiones para que el conductor pueda estar en contacto constante con la central y evitar largas esperas para tener acceso a un teléfono en las paradas de camiones. El tiempo de preparación de informes se reduce de manera importante.[7]

[7] "New Gadgets Trace Truckers' Every Move", *Wall Street Journal*, 14 de julio de 1997, pág. B1.

Informes regulares

En el transcurso normal de las operaciones de negocio se generan muchos informes. Varios de ellos se encuentran disponibles en forma rutinaria para el responsable de la logística. Incluyen informes sobre el estatus del inventario, de utilización de la flota de camiones y del almacén, así como de los costos de transportación y de almacenamiento. Para obtener un control general de la función logística se sugieren tres informes de medición clave: el de costos y servicio, el de productividad y la tabla de desempeño.

Informe de costos y servicio

Los informes de costos y servicio son similares a los de pérdidas y ganancias, que son populares para la contabilidad financiera en la mayor parte de las empresas. Su objetivo es mostrar los costos de distribución física y de suministros físicos totales, así como los niveles correspondientes de servicio al cliente obtenidos en el tiempo. Se presentan las actividades más importantes de distribución y suministro físico, en particular transportación, manejo, almacenamiento, mantenimiento de inventario y costos de procesamiento de pedidos. En este informe se proporcionan los niveles de costos anuales totales, como se muestra en la tabla 16-1.

A partir de procedimientos contables tradicionales se pueden determinar los costos para los distintos elementos del informe. Sin embargo, la idea actual es que el costeo basado en actividades ofrece una representación más precisa de los costos logísticos que las prácticas contables tradicionales.[8] El motivo es que históricamente los costos generales del proceso se asignaban al proceso con base en horas de mano de obra directa u horas máquina. Esto era apropiado cuando las operaciones estaban más enfocadas, menos automatizadas y más intensivas en mano de obra, pero a medida que las mejoras en los procesos redujeron los costos relacionados con el volumen en las actividades logísticas, la metodología tradicional se ha cuestionado. En forma alternativa, el costeo basado en actividades rastrea el consumo de recursos al proceso de consumo y luego a productos, clientes y actividades específicas. A fin de cuentas, se identifican las directrices de costos de manera que los costos puedan manejarse mejor.

Debe notarse que el informe de costos y servicio incluye los costos de oportunidad, en particular para los inventarios. Esto permite la adecuada comparación de estas actividades con las de transportación y manejo de materiales para los que se realizan los gastos directos.

Idealmente, también deben presentarse los ingresos asociados con los niveles de actividad de la distribución física representados por los costos. Ya que no es práctico determinar de manera precisa la relación entre las ventas y los niveles de servicio logístico, los ingresos no se incluyen en el informe. En vez de ello se dan a conocer las mediciones del propio nivel de servicio al cliente. Típicamente, no predomina medición individual alguna del servicio al cliente. Por ello deben presentarse muchas mediciones para proporcionar una visión completa del desempeño logístico (ver tabla 16-1).

El informe de costos y servicio también puede presentar comparaciones contra periodos anteriores o contra un presupuesto. Esto puede indicar tendencias en los niveles absolutos de costos y servicio. Es particularmente adecuado mostrar la importancia relativa de cada actividad.

El informe puede encontrarse lógicamente organizado de acuerdo con los costos de distribución física, costos de suministro y servicio al cliente. Los costos de distribución pueden separarse de los costos de suministro debido al grado de independencia en los

[8] Binshan Lin, James Collins y Robert K. Su, "Supply Chain Costing: An Activity-Based Perspective", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management,* Vol. 31, Núm. 10 (2001), págs. 702-713.

Tabla 16-1 Ejemplo de un informe de costos y servicio logísticos

	Este año	Año anterior	Presupuesto/obj.
Distribución física			
Transportación de productos terminados			
Cargos de transporte de entrada al almacén	$ 2,700,000	$ 2,500,000	$ 2,800,000
Cargos de entrega de salida del almacén	3,150,000	2,950,000	3,000,000
Cargos de transporte en devoluciones de inventario a la planta	300,000	250,000	275,000
Cargos extra de entrega en pedidos retrasados	450,000	400,000	400,000
Subtotal	$ 6,600,000	$ 6,100,000	$ 6,475,000
Inventarios de productos terminados			
Inventarios en tránsito	$ 280,000	$ 260,000	$ 250,000
Costos de almacenamiento en almacenes[a]	1,200,000	600,000	1,000,000
Costos de manejo de materiales en los almacenes	1,800,000	1,600,000	1,700,000
Costos de inventario obsoleto	310,000	290,000	300,000
Costos de almacenamiento en las plantas[a]	470,000	460,000	460,000
Costos de manejo de materiales en las plantas	520,000	510,000	510,000
Subtotal	$ 4,580,000	$ 3,720,000	$ 4,220,000
Costos de procesamiento de pedidos			
Procesamiento de pedidos de clientes	$ 830,000	$ 840,000	$ 820,000
Procesamiento de pedidos de reabastecimiento de inventarios	170,000	165,000	160,000
Procesamiento de pedidos retrasados	440,000	300,000	300,000
Subtotal	$ 1,440,000	$ 1,305,000	$ 1,280,000
Administración y gastos generales			
Prorrateo de gastos gerenciales no asignados	$ 240,000	$ 220,000	$ 230,000
Depreciación del espacio de almacenamiento propio	180,000	180,000	180,000
Depreciación del equipo de manejo de materiales	100,000	100,000	100,000
Depreciación del equipo de transporte	50,000	70,000	50,000
Subtotal	$ 570,000	$ 570,000	$ 560,000
Costos totales de distribución	$13,190,000	$11,695,000	$12,535,000
Suministro físico			
Transportación de bienes de suministro			
Cargos de transporte de entrada a la planta	$ 1,200,000	$ 1,400,000	$ 1,115,000
Cargos de transporte acelerado	300,000	250,000	350,000
Subtotal	$ 1,500,000	$ 1,650,000	$ 1,465,000
Inventarios de bienes de suministro			
Costos de almacenamiento sobre materias primas	$ 300,000	$ 375,000	$ 275,000
Costo de manejo de materiales sobre materias primas	270,000	245,000	260,000
Subtotal	$ 570,000	$ 620,000	$ 535,000
Procesamiento de pedidos			
Procesamiento de pedidos de abastecimiento	$ 55,000	$ 50,000	$ 50,000
Costos de pedidos acelerados	10,000	10,000	10,000
Subtotal	$ 65,000	$ 60,000	$ 60,000

Tabla 16-1 *(cont.)*

	Este año	Año anterior	Presupuesto/obj.
Admón. y gastos generales: bienes suministrados			
Prorrateo de gastos gerenciales no asignados	$ 50,000	$ 60,000	$ 40,000
Depreciación del espacio de almacenamiento propio	30,000	30,000	30,000
Depreciación del equipo de manejo de materiales	40,000	40,000	40,000
Depreciación del equipo de transporte	25,000	25,000	25,000
Subtotal	$ 145,000	$ 155,000	$ 135,000
Total de costos de suministro	$ 2,280,000	$ 2,485,000	$ 2,195,000
Total de costos de distribución	$13,190,000	$11,695,000	$12,535,000
Total de costos de logística	**$15,470,000**	$14,180,000	**$14,730,000**
Servicio al cliente			
Porcentaje de entregas de almacén en un día	92%	90%	90%
Porcentaje promedio en inventario[b]	87%	85%	85%
Tiempo total de ciclo de pedido[c]			
(a) Procesamiento normal	7 ± 2	6 ± 2	6 ± 2
(b) Procesamiento de entregas divididas en pedido atrasado	10 ± 3	10 ± 3	10 ± 3
Entregas de pedidos atrasados y divididos			
(a) Número total	503	490	490
(b) Porcentaje de pedidos totales	2.5%	2.7%	2.5%
Pedidos atendidos completos	90%	86%	87%
Tasa de surtido de artículos de línea	95%	91%	95%
Devoluciones de los clientes debido a daños, inventario muerto, errores de procesamiento de pedidos y entregas tardías[d]	1.2%	2.6%	1.0%
Porcentaje del tiempo disponible de producción en suspensión debido a faltas de suministro	2.3%	2.4%	2.0%

[a] Incluye espacio, seguros, impuestos y costos de capital
[b] Porcentaje de artículos individuales atendidos directamente desde los inventarios de almacén
[c] Basado en la distribución de los tiempos de ciclo de pedido en la percentila 95
[d] Porcentaje de ventas brutas

sistemas que generan los costos. Los almacenes de suministro pueden ser diferentes de los almacenes de productos terminados, pueden emplearse distintos servicios de transportación en el lado del suministro contra el lado de la distribución de la empresa, y las redes de procesamiento de pedidos también pueden ser diferentes. Debido al grado de independencia, en ocasiones es posible una administración independiente de estos sistemas. Por ello, resulta útil separar los costos en dos categorías.

Los costos de distribución pueden incluir costos de transportación de la planta al cliente, costos de inventario de productos terminados, costos de procesamiento de pedidos, y gastos administrativos y generales asociados con el sistema de distribución. En el ejemplo de la tabla 16-1, los costos de transportación incluyen los costos de entrada y de salida de un almacén de productos terminados, los gastos de devoluciones de inventario a la planta, y los cargos asociados con los pedidos atrasados. El costo del inventario de productos terminados incluye los costos para mantener los inventarios en almacenes

de campo y en la planta, así como también el costo de los productos en tránsito de la planta al almacén y del almacén al cliente. Además, se presentan los costos de manejo de materiales en el almacén y en la planta porque con frecuencia éstos se calculan en forma separada con respecto de los costos de almacenamiento, y las clasificaciones independientes son útiles en la evaluación de la eficiencia y efectividad de cada uno de estos subsistemas. Se presentan los costos de inventario obsoleto, porque en este caso son importantes en relación con los otros costos en la categoría. Los costos de procesamiento de pedidos son el tercer rubro más importante en los costos de distribución. Estos costos incluyen el procesamiento de pedidos del cliente y de inventario así como también los costos de procesamiento de pedidos atrasados. Por último, los costos de distribución incluyen el prorrateo de los distintos gastos de administración y generales.

Los costos del suministro físico están divididos en las mismas categorías generales que los costos de distribución física (ver tabla 16-1). Ya que el sistema de suministro con frecuencia es más simple que el sistema de distribución para muchas compañías, se requieren menos categorías para manejo efectivo.

El servicio al cliente es la categoría final en el informe de costos y servicio. Los costos logísticos no tienen mucho significado a menos que exista alguna medida del servicio logístico contra el cual compararlos. Conocer cómo afecta todo sistema logístico en particular a los ingresos sería ideal. Esto rara vez está disponible, por lo que se utiliza alguna medida física en vez de económica como sustituto. Por ejemplo, el servicio de distribución podría medirse en términos de porcentaje de entregas desde el almacén en un día, porcentaje de promedio en inventario, tiempo total del ciclo de pedidos para el procesamiento normal y para pedidos atrasados, el número y porcentaje de pedidos atrasados, y el porcentaje de ventas devueltas debido a problemas de distribución. En el lado del suministro, el servicio al cliente podría medirse como un porcentaje del tiempo disponible de producción en el que las operaciones se detuvieron debido a faltantes de materia prima.

En general, el informe de costos y servicio proporciona el tipo de información agrupada necesaria para el control general de la función logística. Cuando se requiere más información para el control detallado de una sola categoría de costos o de servicio, el responsable de la logística deberá ser capaz de "explotar" la categoría para obtener la información que generó la cifra acumulada. Esto ayuda a rastrear el motivo de encontrarse en una situación fuera de control por causas fundamentales.

Informe de productividad

El informe de costos y servicio puede ser adecuado para propósitos de presupuestación, pero no es suficiente para indicar la eficiencia de las actividades logísticas. A continuación se incluyen algunos ejemplos de los principales índices de evaluación de la administración logística que pueden utilizarse para propósitos de control para mejorar la productividad:

- Costo logístico en relación con las ventas
- Costos de actividad en relación con el costo logístico total
- Costo logístico en relación con el estándar de la industria, el promedio, o ambos
- Costo logístico en relación con el presupuesto
- Recursos logísticos presupuestados en relación con recursos reales (dólares, mano de obra, horas, etcétera) ajustados para rendimiento actual contra actividad pronosticada.

Un informe de productividad como el ilustrado en la tabla 16-2 intenta colocar el desempeño de las actividades en una perspectiva relativa. Es decir, se forma un índice del

Medida de productividad	Este trimestre	Último trimestre	Este trimestre del último año	Estándar de la compañía	Prom. de la industria[a]
Transportación					
Costos de transporte como un porcentaje de los costos de distribución	31%	30%	32%	29%	31%
Reclamaciones de daños y pérdidas como un porcentaje de los costos de transporte	0.5%	0.5%	0.6%	0.5%	0.5%
Costos de transporte como un porcentaje de las ventas	9.6%	9.2%	10.2%	9.0%	8.8%
Inventarios					
Rotación de inventario	4.5	4.4	5.0	4.7	6.0
Inventario obsoleto a ventas	0.1	0.1	0.3	0.1	0.2
Procesamiento de pedidos					
Pedidos procesados por hora de mano de obra	50	45	55	50	50
Porcentaje de pedidos procesados en las 24 horas de su recepción	96%	92%	85%	95%	93%
Costos de procesamiento de pedidos en relación con el número total de pedidos procesados	$5.50	$4.95	$5.65	$5.00	—
Almacenamiento					
Porcentaje de volumen utilizado	75%	70%	70%	70%	70%
Unidades manejadas por hora de mano de obra	200	250	225	200	200
Servicio al cliente					
Disponibilidad de inventario (porcentaje de pedidos atendidos desde el inventario primario)	98%	92%	90%	90%	85%
Porcentaje de pedidos enviados en las 24 horas de su recepción	72%	70%	61%	85%	90%

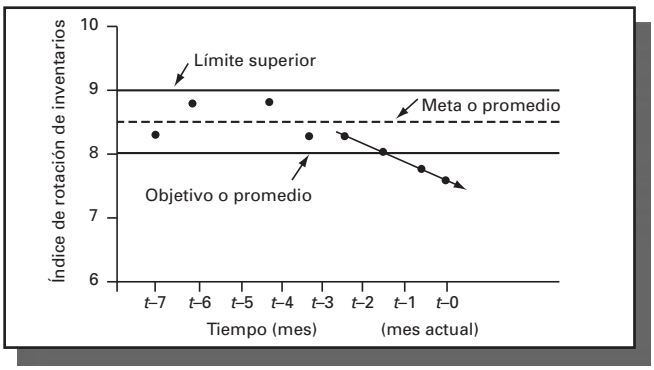
[a] Para empresas comparables

Tabla 16-2 Ejemplo de un informe de productividad logístico

desempeño de salida en relación con los recursos de entrada, que da lugar al nivel de desempeño de salida. Por ejemplo, se crean índices de costos de transporte en relación con las ventas, de las ventas en relación con el nivel de inventario promedio necesario para soportarlas, y del número de artículos recolectados en un almacén en relación con horas de mano de obra. A medida que las ventas de la compañía cambian, el índice debe permanecer constante o cambiar de manera predecible. La desviación debe indicar toda actividad que se encuentre fuera de control.

Los informes de productividad del tipo que se muestran en la tabla 16-2 son particularmente significativos cuando el desempeño logístico de una empresa se compara con el de otra o con el de la industria como un todo. Las diferencias en el tamaño de las empresas se neutralizan, lo cual mejora la capacidad de compararlas. Además, se facilitan las comparaciones realizadas entre distintos periodos, ya que las variaciones del nivel de ventas entre periodos son nuevamente neutralizadas en la mayor parte de los índices.

Figura 16-6
Gráfica de desempeño para un índice de rotación de inventarios.



Gráfica de desempeño

Las gráficas de control del tipo que han resultado tan populares en el control de calidad de la fabricación pueden utilizarse en el control del desempeño de la logística para proporcionar un mejor seguimiento de los costos, servicio al cliente o índices de productividad en el tiempo, y para determinar con precisión cuando ocurra una tendencia adversa. Cuando se dispone de suficiente información, se pueden utilizar procedimientos estadísticos para dar señales del momento en que debe tomarse una acción correctora. Las gráficas de desempeño proporcionan una descripción gráfica del desempeño así como una comparación entre medidas de desempeño sobre múltiples periodos consecutivos.

La figura 16-6 ilustra el uso de la gráfica de desempeño para un índice de rotación de inventarios. La variación normal para el índice se encuentra entre ocho y nueve rotaciones por año. Se pueden graficar los índices de rotación reales para el periodo actual, incluyendo un número representativo de los periodos más recientes. El desempeño real, o índices de rotación, se observa por su tendencia, y si han penetrado el límite de control. En todo caso, el desempeño real ya no se mantiene dentro de las normas establecidas para el índice. Sería apropiada la revisión de los motivos del cambio por parte de la administración.

Ejemplo

Un servicio de paquetería express ofrece que todos los paquetes serán entregados dentro de las 24 horas siguientes a su recolección. En la práctica, la compañía desea que al menos 90% de las entregas se realicen dentro de este periodo. Se han recopilado muestras de 100 entregas para cada uno de los 10 días operativos representativos. Los resultados fueron los siguientes:

Muestra	Entregas realizadas en 24 horas
1	94
2	93
3	94
4	95
5	94
6	93
7	92
8	93
9	96
10	95
Total	939

Este proceso puede representarse por una gráfica *p*, como se muestra en la figura 16-7. El promedio del proceso ($\bar{p}$) se obtiene mediante

$$\bar{p} = \frac{\text{Número total de entregas a tiempo}}{\text{Número total de entregas}} = \frac{939}{10(100)} = 0.94$$

La desviación estándar de la distribución de muestreo para un tamaño de muestra de $n = 100$ es:

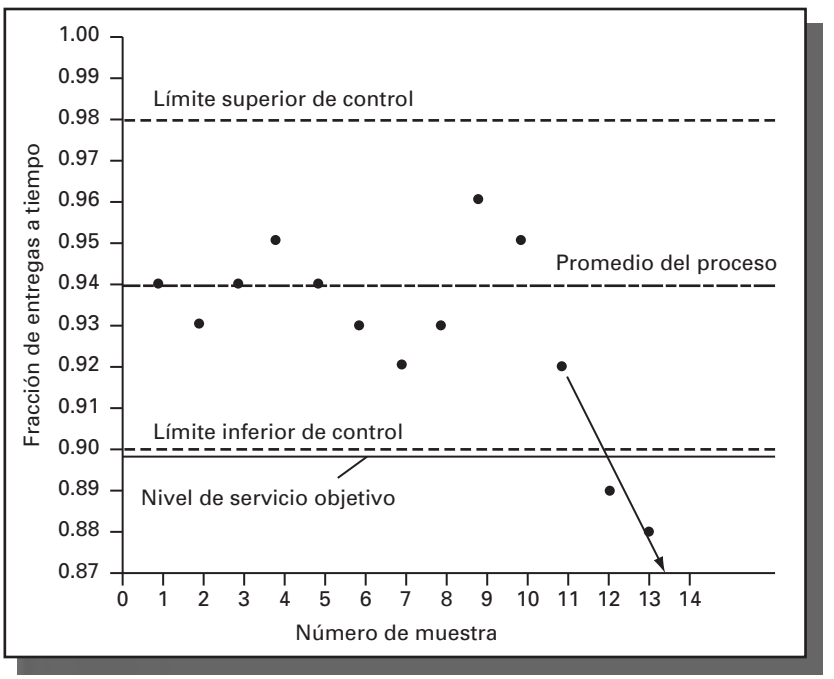
$$\hat{\sigma}_p = \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} = \sqrt{\frac{0.94(1-0.94)}{100}} = 0.02$$

Los límites de control superior e inferior sobre este proceso para una z = 1.96 con una confianza de 95% (apéndice A) son

$$\text{UCL}_p = \bar{p} + z(\hat{\sigma}_p) = 0.94 + 1.96(0.02) = 0.98$$
$$\text{LCL}_p = \bar{p} - z(\hat{\sigma}_p) = 0.94 - 1.96(0.02) = 0.90$$

Las siguientes tres muestras de 100 demuestran cada una 92, 89 y 88 entregas a tiempo. El número promedio de entregas retrasadas parece estar incrementándose, y sería indicada una acción correctora con objeto de preservar el nivel prometido de servicio al cliente. En la figura 16-7 se observa una tendencia no favorable.

Figura 16-7
Gráfica de desempeño para las entregas a tiempo.



Acción correctora

El elemento final en la función de control es la acción correctora que debe emprenderse cuando ya no es tolerable la diferencia entre los objetivos del sistema y el desempeño real. La acción para reducir la diferencia dependerá de la naturaleza y grado de la condición fuera de control. En esta sección se distinguen tres tipos de acción: ajustes menores, replaneación mayor y acción de contingencia.

Ajustes menores

Se presentará cierta variación del desempeño real con respecto del desempeño deseado y podrá ser anticipada, ya sea que el problema de control sea administrar la función logística general o una subactividad de la función. De la misma forma que la dirección de un automóvil debe ajustarse continuamente a medida que avanza por un camino, así debe suceder para el desempeño de una actividad logística. El desempeño de una actividad se encuentra bajo cambio constante debido al dinámico e incierto ambiente de negocios que actúa sobre ella. Por ejemplo, la actividad de transportación de la selección de servicio, el direccionamiento y la programación variarán con el tiempo en términos de sus costos, debido a los cambios en tarifas, rutas disponibles, disponibilidad del equipo, pérdidas y daños, etcétera. Tal dinámica por lo general no requiere cambios mayores en la forma en que se desempeñe la actividad. Con frecuencia será suficiente con ajustes menores a la mezcla del nivel de actividad, a las reglas de decisión e incluso a los objetivos del sistema para mantener el control adecuado sobre el sistema. La mayor parte de las acciones correctoras son de este tipo.

Replaneación mayor

Efectuar una reevaluación del sistema logístico, cambios importantes en los objetivos de la función logística, cambios mayores en el ambiente logístico y la introducción de nuevos productos y descontinuar productos actuales, puede requerir una replaneación mayor para el desempeño de las actividades. La replaneación mayor implica reciclar por completo el proceso de planeación directiva que genere nuevas líneas de acción, y por lo tanto un nuevo nivel de desempeño de las actividades, nuevos estándares de referencia del sistema de control y nuevos límites de tolerancia al error. Tal replaneación puede dar por resultado una nueva configuración del almacén, alteraciones en los procedimientos de procesamiento de pedidos, revisiones de los procedimientos de control de inventario y alteraciones al sistema de flujo de productos dentro de almacenes y plantas.

La diferencia entre las acciones correctoras emprendidas en la forma de ajustes menores en comparación con una replaneación mayor es que los ajustes menores no requieren cambio sustancial de los mecanismos de control. De hecho, la acción correctora con frecuencia es de rutina, como en el caso del control de inventarios donde la acción se inicia en forma de un pedido de inventario cuando el inventario se reduce a un nivel predeterminado. Los ajustes de control son automáticos mediante la aplicación de una regla de decisión. En contraste, la replaneación mayor implica cambios sustanciales a las entradas del proceso en forma de planes nuevos o revisiones mayores que los antiguos. No existe una clara definición acerca de cuándo los ajustes para mantener el control de las actividades deben ceder el paso a una revisión mayor del sistema. En teoría, el punto óptimo de transición será cuando los incrementos de costos asociados con continuar el uso de ajustes menores dentro del sistema de control para mantener el control sobre el proceso sean iguales a los incrementos de beneficios que se derivarán de una replaneación mayor. Localizar este punto es más cuestión de criterio directivo que un cálculo matemático preciso.

Planes de contingencia

La tercera forma de acción correctora es que se emprende cuando existen posibilidades de cambios notables en el nivel de desempeño de las actividades. Tales cambios espectaculares pueden ocurrir cuando un almacén se cierra debido a un incendio, cuando una falla de las computadoras vuelve inoperante al sistema computarizado de control de inventarios, cuando una huelga modifica la disponibilidad de los servicios de transporte, o cuando las fuentes de materias primas repentinamente ya no están disponibles. El servicio al cliente por parte de la compañía puede comprometerse seriamente, el nivel de los costos de logística para producir un nivel dado de servicio al cliente puede elevarse repentinamente debido a los cambios rápidos y dramáticos de las condiciones bajo las cuales el proceso se encontraba operando, o ambas cosas. Los ajustes menores en las entradas del proceso con frecuencia demuestran ser insuficientes para restituir el control a un sistema que ha sufrido el trastorno de un evento como este. Las presiones para mantener las operaciones logísticas colocan a la replaneación mayor como un camino para una acción correctora en desventaja, ya que una buena planeación requiere tiempo.

Muchas compañías han observado que los planes de contingencia desarrollados con anticipación a su necesidad son una forma adecuada de atender el problema de cambios repentinos al proceso del sistema.[9] Los planes de contingencia representan líneas de acción predeterminadas que se llevarán a cabo cuando se presente un evento definido.

Aplicación

Recuerde el ejemplo anterior donde el almacén privado de un grande y reconocido fabricante de productos para copiadoras de oficina fue afectado por un incendio la tarde de un viernes. El incendio destruyó el almacén y sus contenidos. El almacén atendía el área completa de la costa oeste, las ventas y el servicio al cliente fueron puestas en riesgo en esta región. Debido a que la compañía tuvo la visión de desarrollar un plan de contingencia para un evento como este, los inventarios fueron enviados de inmediato por transporte aéreo a un almacén público en el área para luego quedar listos para las ventas la mañana del lunes. Los clientes no experimentaron cambio alguno en el servicio.

Modelo de referencia de operaciones de la cadena de suministros (ROCS)[10]

Para medir mejor el desempeño de la cadena de suministros y para identificar oportunidades de mejora, el Consejo de Cadenas de Suministro[11] de Estados Unidos desarrolló en 1997 su primera versión de un modelo de referencia de procesos. El modelo intenta vin-

[9] En una encuesta a los participantes de una reunión anual del Consejo de Administración Logística, 60% de quienes respondieron afirmaron que sus compañías contaban con planes de contingencia para las operaciones logísticas.

[10] Con base en la descripción del modelo SCOR en Scott Stephens, "Supply Chain Operations Reference Model Version 5.0: A New Tool to Improve Supply Chain Efficiency and Achieve Best Practice", *Proceedings of a Workshop on Supply Chain Management Practice and Research: Status and Future Directions* (University of Maryland, Rockville, MD, 18-19 de abril de 2001), págs. 7-1-7-11.

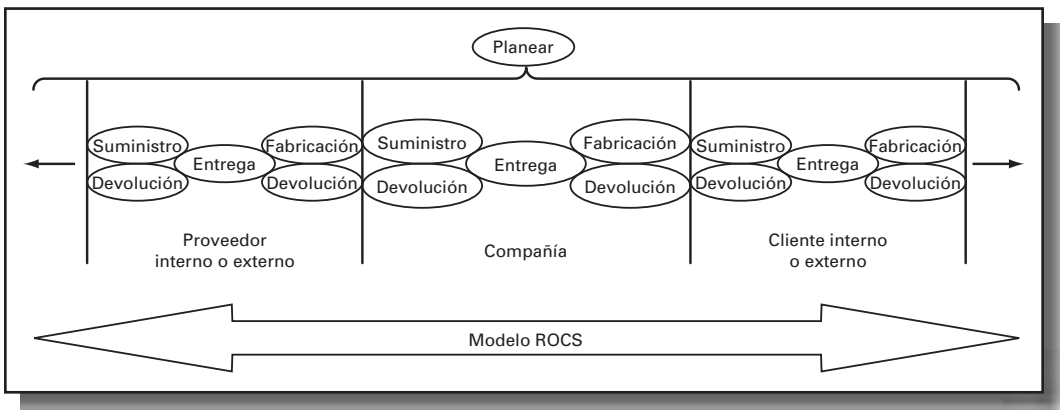
[11] El Consejo de Cadenas de Suministro es una organización sin fines de lucro formada principalmente por profesionales dedicados a hacer progresos en las prácticas y sistemas de administración de las cadenas de suministros. Se puede obtener más información acerca del consejo y del modelo SCOR en www.supply-chain.org

cular el proceso de cadena de suministros o actividad, descripción y definición con las mediciones de desempeño, mejores prácticas y requerimientos de software. Los objetivos del diseño del modelo son proporcionar una estructura para vincular los objetivos de negocio con las operaciones de la cadena de suministros (por ejemplo, la interpretación del efecto de las estadísticas de cumplimiento de pedidos sobre los ingresos y los costos) y desarrollar un enfoque sistemático par identificar, evaluar y supervisar el desempeño de la cadena de suministros. En pocas palabras, el modelo de referencia de las operaciones de la cadena de suministros (ROCS) proporciona una forma de definir las actividades de la cadena de suministros en un formato estandarizado, analizando la cadena de suministros en forma interna a la organización a nivel del producto, y comparando el desempeño con las estadísticas derivadas de las compañías miembros del consejo.

El modelo logra sus objetivos primero al contar con un amplio alcance que incluye todos los elementos de la demanda, iniciando con el pronóstico de la demanda de los clientes o levantamiento de pedidos y terminado con la facturación final y el pago, el cual puede incluir los elementos de la cadena de suministros de múltiples empresas. Segundo, las descripciones de los procesos pueden ser específicas de un producto, aunque también es posible una descripción general de la infraestructura de la compañía. Tercero, se establece un marco de referencia para la descripción del proceso con base en cinco componentes: planear, suministrar, fabricar, entregar y devolver. Por último, se utilizan cinco dimensiones de desempeño: confiabilidad, sensibilidad, flexibilidad, costo y eficiencia en la utilización de activos.

En el nivel más alto del modelo (nivel 1), se describen los cinco procesos de negocio: planear, suministrar, fabricar, entregar y devolver para cada nivel en la cadena de suministros, como se muestra en la figura 16-8. Las actividades de planeación balancean la demanda y los recursos, y proporcionan una integración entre las actividades y las organizaciones. Las actividades de suministro son aquellas que están asociadas con la adquisición de materias primas y conectan a las organizaciones con sus proveedores. Las actividades de fabricar transforman las materias primas en productos terminados; sin embargo, algunas compañías, como los distribuidores o detallistas, no realizan las actividades de fabricación. Las actividades de entrega son las asociadas con la administración de los pedidos y la entrega de los productos terminados. Las actividades de devolución se refieren a las relacionadas con la devolución de materias primas a los proveedores o la de-

Figura 16-8 Los cinco procesos de negocio del modelo ROCS.



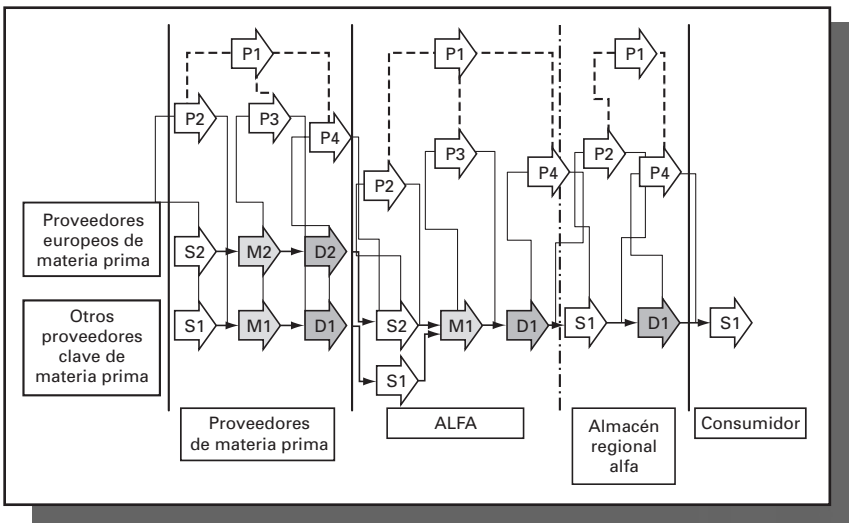


Figura 16-9 Diagrama de "trama" de procesos para una cadena de suministros hipotética, donde P = planear, S = suministrar, M = fabricar y D = entregar.

volución de productos terminados por parte de los clientes. Aunque el nivel 1 se encuentra ligado a los objetivos del negocio, los cinco procesos pueden descomponerse en niveles 2 y 3 para mayor detalle y mayor entendimiento de la operación del canal de suministros. Se utilizan referencias estándar. La descomposición al nivel 4 permite que se modelen prácticas de administración específicas.

Para describir aún más la cadena de suministros, se crea un mapa de procesos. Por lo general iniciando con un diagrama de red, se prepara un diagrama de "trama" de productos, como se muestra en la figura 16-9. Este tipo de mapeo ayuda a visualizar la cadena de suministros, pero aún cuenta con información insuficiente para conocer si la cadena de suministros se está desempeñando de acuerdo con los objetivos del negocio. Para realizar esto, el modelo proporciona un número de mediciones agrupadas en cinco dimensiones de desempeño. En la tabla 16-3 se proporciona un ejemplo de las métricas del nivel 1. Para cada uno de los elementos de proceso, el modelo ROCS identifica la mejor práctica y tecnología. La figura 16-10 muestra un primer paso para vincular procesos y métricas dentro del modelo ROCS.

Por último, se presenta una tabla que muestra la mejor práctica y tecnología por parte del modelo. A partir de estas listas representativas se pueden derivar opciones de mejora y de implementación. El modelo ROCS es principalmente una herramienta de comunicación entre profesionales del área, que lleva a un mejor control sobre el canal de suministros.

Enlaces de control para inteligencia artificial

Es una práctica común para el director de la logística y la cadena de suministros evaluar el desempeño a partir de los informes regulares y auditorías que recibe, y tomar acciones correctoras según sea apropiado. La tecnología de cómputo que hace factible la planeación y el control basados en computadora avanza un paso adelante al permitir la aplica-

Atributo de desempeño de la cadena de suministros	Nivel de definición del atributo de desempeño	Métrica de nivel 1
Confiabilidad de la entrega	El desempeño de la cadena de suministros al enviar el producto adecuado al lugar adecuado en el momento adecuado, en la condición adecuada y en el empaque y cantidad adecuados con la documentación adecuada y al cliente adecuado	• Desempeño en la entrega • Velocidad de atención • Cumplimiento perfecto del pedido
Capacidad de respuesta	La velocidad a la cual una cadena de suministros proporciona los productos al cliente	• Tiempos de espera para el cumplimiento de pedidos
Flexibilidad	La agilidad de la cadena de suministros para responder ante cambios en el mercado con objeto de obtener o mantener una ventaja competitiva	• Tiempo de respuesta de la cadena de suministros • Flexibilidad de la prod.
Costos	Los costos asociados con las operaciones de la cadena de suministros	• Costo de los bienes vendidos • Costos totales de admón. de la cadena de suministros • Productividad de valor agregado • Costos de procesamiento de garantías y devoluciones
Eficiencia en la administración de activos	Efectividad organizacional en el manejo de todos los activos para apoyar el cumplimiento de la demanda, incluyendo capital de trabajo y fijo	• Tiempo del ciclo de de efectivo a efectivo • Días de inventario de suministros • Rotación de activos

Tabla 16-3 Métricas de nivel 1 para los atributos de desempeño de la cadena de suministros

ción de los conceptos emergentes de inteligencia artificial (por cierto, denominada como sistemas expertos) al proceso de control logístico. Existen muchas interpretaciones de la inteligencia artificial. Para propósitos de este análisis, se refiere al reconocimiento por computadora de patrones adversos en los informes de desempeño y las sugerencias resultantes sobre las líneas de acción que deberían tomarse para corregir los patrones adversos de desempeño. En cierto modo, la computadora artificialmente inteligente actúa como consultor o asistente del gerente.

Reconocimiento de patrones

La clave para llevar la medición del desempeño al siguiente nivel de sofisticación es el reconocimiento de patrones. Las empresas con frecuencia contratan consultores para auditar las operaciones de logística. Estos consultores utilizan su experiencia, conceptos y principios, y su filosofía para evaluar el desempeño (como lo hacen los analistas y los ge-

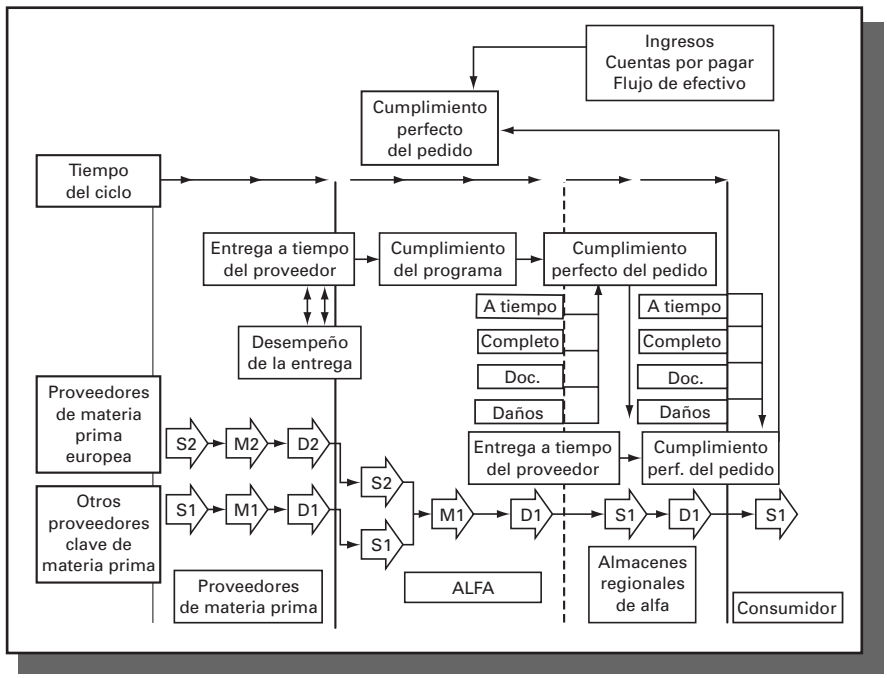


Figura 16-10 Vinculación de procesos y métricas dentro del modelo.

rentes). Luego aplican el juicio personal para decidir las líneas de acción que podrían aliviar las situaciones reales o posibles fuera de control. La captura de este proceso en un sistema computarizado de información directiva o de apoyo para la toma de decisiones aporta un nuevo nivel de sofisticación al proceso de control.

La inteligencia artificial no es nueva. Investigaciones importantes en el área datan de hace 20 años, y se otorgó un premio Nobel por investigación en el campo; sin embargo, la tecnología comienza a aplicarse a los problemas de control en la logística, aunque todavía no de manera amplia. De 105 aplicaciones de la inteligencia artificial a los problemas de logística, Allen y Helferich clasificaron sólo cinco como relacionadas con el control.[12]

Aplicaciones

- Ferrocarriles Santa Fe utiliza un sistema artificialmente inteligente, denominado TRACKS, para manejar aspectos básicos de oferta y demanda de las operaciones. Predice la demanda de vagones de ferrocarril, anticipa las preferencias de los clientes y controla los vagones para cumplir los pedidos del despachador.
- El programa MOVER de Digital Equipment Corporation coordina y maneja dos robots que entregan los inventarios de trabajo en proceso desde las áreas de almacenamiento a producción. El sistema de transporte consiste en un robot que recoge por-

[12] Mary K. Allen y Omar K. Helferich, *Putting Expert Systems to Work in Logistics* (Oak Brook, IL: Council of Logistics Management, 1990), pág. 97.

tadores identificados con códigos de barras de dos carruseles y los desplaza a través de uno de tres transportadores a cualquiera de las 75 estaciones de trabajo de producción. Los robots entregan las partes según las necesita la planta seis días por semana, tres turnos por día. MOVER ha reducido los costos de manejo de materiales en $300,000 por año, disminuyó los inventarios de trabajo en proceso 50% e incrementó la precisión de la contabilidad del inventario en 99 por ciento.[13]

Patrones de desempeño

Hacer que la computadora reconozca tendencias de desempeño o variaciones respecto de los estándares es el primer paso hacia un proceso de control artificialmente inteligente. Los conceptos básicos de la dirección logística y la cadena de suministros son las mejores guías contra las que debe compararse la información del desempeño. Las actividades en fuerte conflicto de costos entre sí (transportación con inventarios y niveles de servicio al cliente con niveles de actividad de la distribución total) son los principales candidatos para ser supervisados o monitoreados. De la misma forma que con una persona como supervisor o monitor, deseamos que la computadora reconozca e interprete patrones adversos de desempeño logístico.

El momento en que tanto los costos de transportación como de inventario se elevan mientras el servicio al cliente permanece constante es un ejemplo de un patrón adverso de desempeño. Ya que por lo general los costos de transportación e inventario muestran patrones opuestos o contradictorios de costos, esta tendencia es una señal de que estos dos importantes factores de desempeño no se están moviendo en la forma esperada y que se requiere una investigación y una posible acción correctora.

De igual manera, suponga que los niveles de servicio al cliente se encuentran disminuyendo, aunque los costos totales de la distribución física se incrementen. En forma alternativa, existe velocidad decreciente en el cumplimiento en los artículos de un pedido, pero el índice de rotación de inventario se está incrementando. Estas comparaciones revelan patrones preocupantes que el sistema de cómputo artificialmente inteligente debería destacar.

Cursos de acción

Después de reconocer los patrones de desempeño, el sistema de control artificialmente inteligente especificará líneas de acción apropiadas que debería emprender el gerente para devolver los patrones de desempeño adverso en línea con los límites de tolerancia aceptados. Esto supone que es posible instruir a una computadora para discernir patrones de desempeño con precisión y hacerlos corresponder con las respuestas correctoras apropiadas. Actualmente, los observadores con conocimiento pueden realizar esto, y quizá las computadoras puedan emular el proceso. En el corto plazo, las computadoras pueden llevar un registro de la información de desempeño según es generada mediante informes, como los anteriormente presentados en este capítulo. Mediante normas de patrones de desempeño específicas, la computadora puede evaluar el desempeño real contra estas normas y ofrecer un rango de líneas de acción posibles.

Considere cómo podría funcionar esto. Suponga que un gerente de la logística y la cadena de suministros se da cuenta que los índices de rotación de inventario han disminuido durante los últimos periodos y que ahora se encuentran fuera de los límites de to-

[13] Íbid., capítulo 3.

lerancia aceptable. El siguiente paso será verificar los factores que podrían estar ocasionando que se incrementen los niveles de inventario. La computadora podría efectuar las siguientes preguntas relativas a los inventarios:

- ¿Ha ocurrido una caída repentina o estacional en las ventas?
- ¿Se han incrementado las cantidades de producción o de compras respecto de sus niveles anteriores?
- ¿Se han recibido los envíos de entrada en mayores cantidades que antes?
- ¿Se ha incrementado en forma importante el error en el pronóstico de ventas?
- ¿Se han incrementado los tiempos de espera o se han vuelto más inciertos?
- Se han retrasado los envíos de salida?

Quizás exista información inadecuada o no disponible para responder algunas de estas preguntas. Como ejemplo, suponga que la respuesta a la tercera pregunta es afirmativa debido a que la computadora consultó la base de datos adecuada. Las respuestas a las preguntas restantes son negativas. Una vez que se ha aislado la condición que se encuentra fuera de control, se podrán sugerir líneas de acción adecuadas. Por ejemplo, con base en las relaciones actuales de los costos, la computadora podría indicar que los envíos de la transportación de entrada requieren reducirse a un nivel específico si se quiere alcanzar un índice de rotación de inventario promedio de cierto nivel. El administrador podría seguir este consejo, o reestablecer los límites de control de la rotación de inventario para que reflejen un nuevo nivel de balance de costo-servicio. El administrador también podría decidir utilizar diversos modelos, basados en computadora, del sistema de apoyo para la toma de decisiones a fin de evaluar distintas opciones logísticas, cambiando con ello la relación de los costos de transportación y el índice de rotación de inventarios.

Los demás factores de desempeño serían manejados de igual manera. La interpretación inteligente o "experta" por parte de una computadora en cuanto a las relaciones de costo-servicio es inteligencia artificial.

Comentarios finales

El control logístico ayuda a asegurar que los objetivos alrededor de los cuales se desarrollaron los planes logísticos, se logren una vez que el plan se pone en acción. La dinámica y la incertidumbre del ambiente logístico en el tiempo pueden ocasionar desviaciones respecto del desempeño del proceso planeado. Para mantener el desempeño del proceso en línea con los objetivos deseados de desempeño, se requiere algún tipo de control administrativo. El control por lo general asume la forma de un sistema de lazo abierto, lazo cerrado o de un sistema que combine a ambos. En la práctica todos se utilizan.

El responsable de la logística está involucrado en la actividad de control sobre una base diaria. Con frecuencia actúa como supervisor de las actividades logísticas al medir el nivel de actividad mediante las distintas auditorías e informes que se reciben, comparándolos con las metas de desempeño, como presupuestos, estándares de utilidades y objetivos de servicio al cliente. Con base en esta comparación, se toma la decisión para tomar medidas correctoras con objeto de volver la actividad bajo control. En muchas formas, el control es sólo la toma de decisiones tácticas o de corto plazo.

A medida que exista mayor preocupación con el control de las actividades logísticas más allá de las fronteras de la compañía, los sistemas de control tradicional se muestran rezagados. No sólo es un problema de confianza compartir información entre los socios

de la cadena de suministros, sino que las compañías quizá no han desarrollado las métricas y las estructuras de informe necesarias para operar en el ambiente multiempresas. El modelo ROCS es un primer intento de evaluar y modificar las actividades logísticas de la cadena de suministros completa utilizando una estructura estandarizada.

Por último, se dispone de programas de computadora artificialmente inteligentes y sistemas expertos para ayudar a la interpretación de patrones de desempeño y a la sección de líneas de acción adecuadas. La velocidad para que estos programas se utilicen ampliamente dependerá más de nuestra capacidad para articular la naturaleza del proceso de control, de manera que pueda programarse con base de conocimiento más que de la tecnología de cómputo. Esto dependerá de nuestro claro entendimiento de los principios y conceptos sobre los que está basada la logística y la cadena de suministros. Se espera que algunos de estos principios y conceptos hayan sido expresados a lo largo de este texto.

Preguntas

1. ¿Qué papel juega el control en la administración de las actividades logísticas?
2. Una empresa de transporte general por camión controla su desempeño de entrega en términos del tiempo promedio de entrega, variabilidad del tiempo de entrega y reclamaciones de pérdidas y daños. Bosqueje un modelo generalizado de control de retroalimentación de lazo abierto para este proceso con objeto de mantener un nivel deseado de desempeño en las entregas.
3. ¿Qué ventajas tiene el sistema de control modificado sobre los sistemas de control de lazo abierto y de lazo cerrado?
4. ¿Qué actividades logísticas podrían ser controladas exitosamente por un sistema de control de lazo cerrado? Explique.
5. ¿Qué efecto cree usted que tendría un método de transmisión de pedidos por correo (lento) en comparación con un método de transmisión de pedidos electrónico (rápido) sobre el desempeño de un sistema de control de inventarios?
6. ¿Qué valor tiene la auditoría en el proceso de control logístico? ¿Qué auditorías serían de particular valor para el control de las actividades logísticas?
7. Los encargados de la logística y la cadena de suministros pueden sufrir de demasiados informes y de informes del tipo incorrecto. Seleccione una actividad típica, como la transportación o el control de inventarios, y sugiera el tipo y frecuencia de los informes necesarios para controlar la actividad.
8. Suponga que usted se encuentra a cargo del manejo de una operación de transporte general por camiones. ¿Cómo establecería la tolerancia para el desempeño por debajo del estándar (tiempo promedio de entrega, confiabilidad, pérdidas y daños) antes de iniciar una acción correctora menor, como estrechar los estándares sobre el desempeño, cambios de personal y similares? ¿Cuándo deberá presentarse una replaneación mayor?
9. Un fabricante de electrodomésticos tiene un almacén regional grande en Utah para almacenar y distribuir electrodomésticos mayores a los mercados de la Costa Oeste. Si usted fuera el encargado de la logística y la cadena de suministros a cargo de la operación de distribución, ¿qué planes de contingencia realizaría para asegurar el buen desempeño logístico continuo en caso de padecer algún desastre?
10. Si usted quisiera desarrollar un sistema de cómputo artificialmente inteligente para controlar los costos generales de logística y servicio, sugiera las preguntas que debería plantear la computadora si detectara los siguientes patrones:

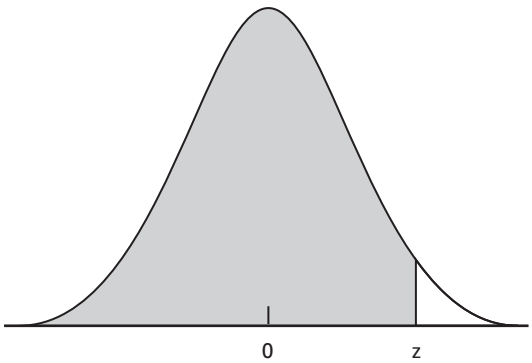
a. Los costos de mantenimiento de inventario y la disponibilidad del inventario se encuentran descendiendo.
b. Los costos de transportación y los costos de mantenimiento de inventario se están elevando y los niveles de servicio al cliente son constantes.
c. Los costos de transportación se están incrementando, en tanto que los costos de mantenimiento de inventario y los niveles de servicio al cliente no han cambiado.

11. Como encargado de la logística y la cadena de suministros, usted desea comparar el desempeño logístico de su compañía con el de compañías similares. ¿Dónde encontraría tal información de evaluación comparativa? ¿Cómo la utilizaría en el proceso de control logístico?
12. Delinee un esquema para controlar los niveles de inventario y las entregas de producto adquirido entre un proveedor y un comprador. Sugiera la información que debería compartirse y el sistema de medición que necesitaría desarrollarse.

Apéndice A

Áreas bajo la distribución normal estandarizada

Una entrada de la tabla es la proporción del área debajo de la curva a partir de una z igual a 0 a un valor positivo de z. Para hallar el área a partir de z igual a 0 a una z negativa, reste el valor de la tabla de 1.



z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319

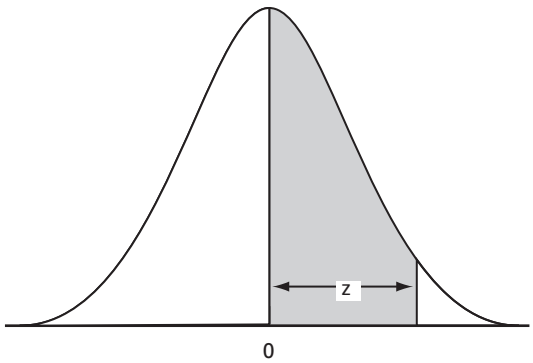
(cont.)

z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990
3.1	0.9990	0.9991	0.9991	0.9991	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9993	0.9993
3.2	0.9993	0.9993	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995
3.3	0.9995	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9997
3.4	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998

Apéndice B

Integrales normales unitarias de pérdida[1]

Ejemplos:
$E_{(z)} = E_{(0.85)} = 0.1100$
$E_{(-z)} = E_{(-1.79)} = 1.8046$



z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
–3.4	3.4001	3.4101	3.4201	3.4301	3.4401	3.4501	3.4601	3.4701	3.4801	3.4901
–3.3	3.3000	3.3101	3.3201	3.3301	3.3401	3.3501	3.3601	3.3701	3.3801	3.3901
–3.2	3.2001	3.2102	2.2202	3.2302	3.2402	3.2502	3.2602	3.2701	3.2801	3.2901
–3.1	3.1003	3.1103	3.1202	3.1302	3.1402	3.1502	3.1602	3.1702	3.1802	3.1902
–3.0	3.0040	3.0104	3.0204	3.0303	3.0403	3.0503	3.0603	3.0703	3.0803	3.0903
–2.9	2.9005	2.9105	2.9205	2.9305	2.9405	2.9505	2.9604	2.9704	2.9804	2.9904
–2.8	2.8008	2.8107	2.8207	2.8307	2.8407	2.8506	2.8606	2.8706	2.8806	2.8906
–2.7	2.7011	2.7110	2.7210	2.7310	2.7410	2.7509	2.7609	2.7708	2.7808	2.7908
–2.6	2.6015	2.6114	2.6214	2.6313	2.6413	2.6512	2.6612	2.6712	2.6811	2.6911
–2.5	2.5010	2.5119	2.5219	2.5318	2.5418	2.5517	2.5617	2.5716	2.5816	2.5915
–2.4	2.4027	2.4126	2.4226	2.4325	2.4424	2.4523	2.4623	2.4722	2.4821	2.4921
–2.3	2.3037	2.3136	2.3235	2.3334	2.3433	2.3532	2.3631	2.3730	2.3829	2.3928
–2.2	2.2049	2.2148	2.2246	2.2345	2.2444	2.2542	2.2641	2.2740	2.2839	2.2938
–2.1	2.1065	2.1163	2.1261	2.1360	2.1458	2.1556	2.1655	2.1753	2.1852	2.1950
–2.0	2.0085	2.0183	2.0280	2.0378	2.0476	2.0574	2.0672	2.0770	2.0868	2.0966
–1.9	1.9111	1.9208	1.9305	1.9402	1.9500	1.9597	1.9694	1.9792	1.9890	1.9987
–1.8	1.8143	1.8239	1.8336	1.8432	1.8529	1.8626	1.8723	1.8819	1.8916	1.9013
–1.7	1.7183	1.7278	1.7374	1.7470	1.7566	1.7662	1.7758	1.7854	1.7950	1.8046
–1.6	1.6232	1.6327	1.6422	1.6516	1.6611	1.6706	1.6801	1.6897	1.6992	1.7087
–1.5	1.5293	1.5386	1.5480	1.5574	1.5667	1.5761	1.5855	1.5949	1.6044	1.6138

(cont.)

z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
–1.4	1.4367	1.4459	1.4551	1.4643	1.4736	1.4828	1.4921	1.5014	1.5107	1.5200
–1.3	1.3455	1.3546	1.3636	1.3727	1.3818	1.3909	1.4000	1.4092	1.4118	1.4275
–1.2	1.2561	1.2650	1.2738	1.2827	1.2917	1.3006	1.3095	1.3185	1.3275	1.3365
–1.1	1.1686	1.1773	1.1859	1.1946	1.2034	1.2121	1.2209	1.2296	1.2384	1.2473
–1.0	1.0883	1.0917	1.1002	1.1087	1.1172	1.1257	1.1342	1.1428	1.1514	1.1600
–0.9	1.0004	1.0086	1.0168	1.0250	1.0333	1.0416	1.0499	1.0582	1.0665	1.0749
–0.8	0.9202	0.9281	0.9361	0.9440	0.9520	0.9600	0.9680	0.9761	0.9842	0.9923
–0.7	0.8429	0.8505	0.8581	0.8658	0.8734	0.8812	0.8889	0.8967	0.9045	0.9123
–0.6	0.7687	0.7759	0.7833	0.7906	0.7980	0.8054	0.8128	0.8203	0.8278	0.8353
–0.5	0.6978	0.7047	0.7117	0.7187	0.7257	0.7328	0.7399	0.7471	0.7542	0.7614
–0.4	0.6304	0.6370	0.6436	0.6503	0.6569	0.6637	0.6704	0.6772	0.6840	0.6909
–0.3	0.5668	0.5730	0.5792	0.5855	0.5918	0.5981	0.6045	0.6109	0.6174	0.6239
–0.2	0.5069	0.5127	0.5186	0.5244	0.5304	0.5363	0.5424	0.5484	0.5545	0.5606
–0.1	0.4509	0.4564	0.4618	0.4673	0.4728	0.4784	0.4840	0.4897	0.4954	0.5011
–0.0	0.3989	0.4040	0.4090	0.4141	0.4193	0.4244	0.4297	0.4349	0.4402	0.4456
0.0	0.3989	0.3940	0.3890	0.3841	0.3793	0.3744	0.3697	0.3649	0.3602	0.3556
0.1	0.3509	0.3464	0.3418	0.3373	0.3328	0.3284	0.3240	0.3197	0.3154	0.3111
0.2	0.3069	0.3027	0.2986	0.2944	0.2904	0.2863	0.2824	0.2784	0.2745	0.2706
0.3	0.2668	0.2630	0.2592	0.2555	0.2518	0.2481	0.2445	0.2409	0.2374	0.2339
0.4	0.2304	0.2270	0.2236	0.2203	0.2169	0.2137	0.2104	0.2072	0.2040	0.2009
0.5	0.1978	0.1947	0.1917	0.1887	0.1857	0.1828	0.1799	0.1771	0.1742	0.1714
0.6	0.1687	0.1659	0.1633	0.1606	0.1580	0.1554	0.1528	0.1503	0.1478	0.1453
0.7	0.1429	0.1405	0.1381	0.1358	0.1334	0.1312	0.1289	0.1267	0.1245	0.1223
0.8	0.1202	0.1181	0.1160	0.1140	0.1120	0.1100	0.1080	0.1061	0.1042	0.1023
0.9	0.1004	0.0986	0.0968	0.0950	0.0933	0.0916	0.0899	0.0882	0.0865	0.0849
1.0	0.0833	0.0817	0.0802	0.0787	0.0772	0.0757	0.0742	0.0728	0.0714	0.0700
1.1	0.0686	0.0673	0.0660	0.0647	0.0634	0.0621	0.0609	0.0596	0.0584	0.0573
1.2	0.0561	0.0550	0.0538	0.0527	0.0517	0.0506	0.0495	0.0485	0.0475	0.0465
1.3	0.0455	0.0446	0.0436	0.0427	0.0418	0.0409	0.0400	0.0392	0.0383	0.0375
1.4	0.0367	0.0359	0.0351	0.0343	0.0336	0.0328	0.0321	0.0314	0.0307	0.0300
1.5	0.0293	0.0287	0.0280	0.0274	0.0267	0.0261	0.0255	0.0249	0.0244	0.0238
1.6	0.0232	0.0227	0.0222	0.0217	0.0211	0.0206	0.0202	0.0197	0.0192	0.0187
1.7	0.0183	0.0179	0.0174	0.0170	0.0166	0.0162	0.0158	0.0154	0.0150	0.0146
1.8	0.0143	0.0139	0.0136	0.0132	0.0129	0.0126	0.0123	0.0120	0.0116	0.0113
1.9	0.0111	0.0108	0.0105	0.0102	0.0100	0.0097	0.0094	0.0092	0.0090	0.0087

z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
2.0	0.0085	0.0083	0.0081	0.0078	0.0076	0.0074	0.0072	0.0070	0.0068	0.0067
2.1	0.0065	0.0063	0.0061	0.0060	0.0058	0.0056	0.0055	0.0053	0.0052	0.0050
2.2	0.0049	0.0048	0.0046	0.0045	0.0044	0.0042	0.0041	0.0040	0.0039	0.0038
2.3	0.0037	0.0036	0.0035	0.0034	0.0033	0.0032	0.0031	0.0030	0.0029	0.0028
2.4	0.0027	0.0026	0.0026	0.0025	0.0023	0.0024	0.0023	0.0022	0.0021	0.0021
2.5	0.0020	0.0019	0.0019	0.0018	0.0018	0.0017	0.0017	0.0016	0.0016	0.0015
2.6	0.0015	0.0014	0.0014	0.0013	0.0013	0.0012	0.0012	0.0012	0.0011	0.0011
2.7	0.0011	0.0010	0.0010	0.0010	0.0009	0.0009	0.0009	0.0008	0.0008	0.0008
2.8	0.0008	0.0007	0.0007	0.0007	0.0007	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
2.9	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004
3.0	0.0004	0.0004	0.0004	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
3.1	0.0003	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
3.2	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
3.3	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
3.4	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
3.5	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

[1] Los valores de esta tabla pueden ser aproximados a partir de $E_{(z)} = e^{[-0.92-1.19(z)-0.37z^2]}$ cuando la z es positiva.

Bibliografía seleccionada

Ackerman, Kenneth B. *Practical Handbook of Warehousing*, 4a. ed. Nueva York: Kluwer Academic Publishers, 1997.

Allen, Mary K. y Omar K. Helferich. *Putting Expert Systems to Work in Logistics*. Oak Brook, IL: Council of Logistics Management, 1990.

Arnold, J. R. Tony y Stephen N. Chapman. *Introduction to Materials Management*, 4a. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2001.

Ballou, Ronald H. *Basic Business Logistics: Transportation, Materials Management and Physical Distribution*, 2a. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1987.

Bauer, Michael J., Charles C. Poirer, Lawrence Lapide y John Bermudez. *E-Business: The Strategic Impact on Supply Chain and Logistics.* Chicago: Council of Logistics Management, 2001.

Bell, Michael G. H. y Yasunori Iida. *Transportation Network Analysis*. Nueva York: John Wiley & Sons, 1997.

Bender, Paul S. *Design and Operation of Customer Service Systems*. Nueva York: American Management Association, 1976.

Berry, Brian J. L. *Geography of Market Centers and Retail Distribution*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1967.

Blanchard, Benjamin S. *Logistics, Engineering and Management*, 5a. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1998.

Blanding, Warren. *Blanding's Practical Physical Distribution/Customer Service*. Silver Spring, MD: Marketing Publications 1985.

Bloomberg, David J., Stephen Lemay y Joe B. Hanna. *Logistics.* Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2002.

Bowersox, Donald J. et al. *Dynamic Simulation of Physical Distribution Systems*. East Lansing, MI: Division of Research, Michigan State University, 1972.

Bowersox, Donald J. y David Closs. *Logistical Management: The Integrated Supply Chain Process*. Nueva York: McGraw-Hill, 1996.

Bowersox, Donald J., Pat J. Calabro y George Wagenheim. *Introduction to Transportation*. Nueva York: Macmillan, 1982.

Bowersox, Donald J., David J. Closs y M. Bixby Cooper. *Supply Chain Logistics Management.* Nueva York: McGraw-Hill, 2002.

Bowersox, Donald, Patricia J. Daugherty, Cornelia L. Dröge, Richard N. Germain y Dale Rogers. *Logistical Excellence*. Burlington, MA: Digital Press, 1992.

Briggs Andrew J. *Warehouse Operations Planning and Management*. Nueva York: John Wiley & Sons, 1960.

Brown, Richard A. *Applying Physical Distribution Management Concepts: A NAWGA Introductory Manual*. Falls Church, VA: National-American Wholesale Grocers Association, 1984.

Brown, Robert G. *Materials Management Systems: A Modular Library*. Nueva York: John Wiley, 1977.

Brown, Robert G. *Rules for Inventory Management*. Nueva York: Holt, Rinehart & Winston, 1967.

Brown, Robert G. *Smoothing, Forecasting and Prediction of Discrete Time Series*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1963.

Bruce, Harry J. *Distribution and Transportation Handbook*. Boston: Cahners, 1971.

Cavinato, Joseph L. *Purchasing and Materials Management*. St. Paul, MN: West, 1984.

Cavinato, Joseph L. *Finance for Transportation and Logistics Managers*. Washington, DC: Traffic Service Corporation, 1977.

Chase, Richard B. y Nicholas J. Aquilano. *Production & Operations Management*, 6a. ed. Homewood, IL: Irwin, 1992.

Chopra, Sunil y Peter Meindl. *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation*, 2a. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2004.

Christopher, Martin. *Logistics and Supply Chain Management: Strategies for Reducing Cost and Improving Service*, 2a. ed. Upper Saddle River, NJ: Financial Times—Prentice Hall, 1998.

Christopher, Martin. *Logistics and Supply Chain Management*. Nueva York: Irwin, 1994.

Christopher, Martin. *The Strategy of Distribution Management*. London: Gower Publishing, 1985.

Constantin, James A. *Principles of Logistics Management*. Nueva York: Appleton-Century-Crofts, 1966.

Copacino, William C. *Supply Chain Management*. Boca Raton, FL: CRC Press, 1997.

Coughlan, Anne, Erin Andersen, Louis W. Stern y Adel I. El-Ansary. *Marketing Channels*, 6a. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2001.

Coyle, John J., Edward J. Bardi y Joseph L. Cavinato. *Transportation*, 3a. ed. St. Paul, MN: West, 1990.

Coyle, John J., Edward J. Bardi y C. John Langley, Jr. *The Management of Business Logistics: A Supply Chain Perspective*, 7a. ed. Mason, OH: South-Western College Publishing, 2003.

Dobler, Donald W. y David N. Burt. *Purchasing and Supply Management: Text and Cases*, 6a. ed. Nueva York: McGraw-Hill, 1995.

Ellram, Lisa M. y Thomas Y. Chol. *Supply Management for Value Enhancement*. Tempe, AZ: Institute for Supply Management, 2000.

Ernst and Whinney. *Warehouse Accounting and Control: Guidelines for Distribution and Financial Managers*. Chicago: National Council of Physical Distribution Management, 1985.

Ernst and Whinney. *Transportation Accounting and Control: Guidelines for Distribution and Financial Management*. Oak Brook, IL: National Council of Physical Distribution Management, 1983.

Fair, Marvin L. y Ernest W. Williams, Jr. *Transportation and Logistics*. Plano, TX: Business Publications, 1981.

Fawcett, Stanley. *The Supply Management Environment*. Tempe, AZ: Institute for Supply Management, 2000.

Fearon, Harold E., Donald W. Dobler y Kenneth H. Killen. *The Purchasing Handbook*, 5a. ed. Nueva York: McGraw-Hill, 1993.

Firth, Donald, Jim Apple, Ron Denham, Jeff Hall, Paul Inglis y Al Saipe. *Profitable Logistics Management*, 2a. ed. Nueva York: McGraw-Hill, 1988.

Forrester, Jay W. *Industrial Dynamics*. Cambridge, MA: MIT Press, 1961.

Francis, R. L., Leon F. McGinnis y J. A. White. *Facility Layout and Location: An Analytical Approach*, 2a. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1992.

Frazelle, Edward. *World-Class Warehousing and Materials Handling*. Nueva York: McGraw-Hill, 2002.

Ghosh, Avijit y Sara L. McLafferty. *Location Strategies for Retail and Service Firms*. Lexington, MA: D. C. Heath, 1987.

Gilmour, Peter (ed.) *Logistics Management in Australia*. Melbourne, Australia: Longman Cheshire, 1987.

Gilmour, Peter, *The Management of Distribution: An Australian Framework*, 2a. ed. Melbourne, Australia: Longman Cheshire, 1987.

Glaskowsky, Nicholas A., Jr., Donald R. Hudson y Robert M. Ivie. *Business Logistics*, 3a. ed. Nueva York: Dryden Press, 1992.

Greene, James H. *Production and Inventory Control Handbook*, 3a. ed. Nueva York: McGraw-Hill, 1997.

Greene, James H., ed., *Production and Inventory Control Handbook*. Nueva York: McGraw-Hill, 1997.

Greenhut, Melvin L. *Plant Location in Theory and Practice*. Chapel Hill, NC: University of North Carolina, 1956.

Guelzo, Carl M. *Introduction to Logistics Management*. Upper Saddle River NJ: Prentice Hall, 1986.

Handfield, Robert B. y Ernest L. Nichols, Jr. *Introduction to Supply Chain Management*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1999.

Harmon, Roy L. *Reinventing the Warehouse: World Class Distribution Logistics*. Nueva York: The Free Press, 1993.

Hax, Arnold C. y Dan Chadea. *Production and Inventory Control*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1984.

Heinritz, Stuart F., Paul V. Farrell, Larry Giunipero y Michael Kolchin. *Purchasing: Principles and Applications*, 8a. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1991.

Helferich, Keith y Robert L. Cook. *Securing the Supply Chain*. Oak Brook, IL: Council of Logistics Management, 2002.

Hillier, Frederich S. y Gerald J. Lieberman *Introduction to Operations Research*, 6a. ed. Nueva York: McGraw-Hill, 1995.

Hoover, Edgar M. *Location Theory and the Shoe and Leather Industries*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1957.

Hutchinson, Norman E. *An Integrated Approach to Logistics Management*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1987.

Isard, Walter. *Location and Space-Economy*. Nueva York: John Wiley & Sons; Cambridge, MA: Technology Press of the Massachusetts Institute of Technology, 1956.

Jenkins, Creed H. *Complete Guide to Modern Warehouse Management*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1990.

Jetter, Otto. *Global Purchasing Management*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1996.

Johnson, James C., Donald F. Wood, Daniel Wardlow y Paul Murphy. *Contemporary Logistics*, 7a. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1999.

Kearney, A. T., INC. *Measuring Productivity in Physical Distribution*. Chicago: National Council of Physical Distribution Management, 1978.

Kotler, Philip. *Marketing Management: Analysis, Planning, Implementation, and Control*, 9a. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1997.

Lalonde, Bernard J. y Paul H. Zinzer. *Customer Service: Meaning and Measurement*. Chicago: National Council of Physical Distribution Management, 1976.

Lambert, Douglas M. *The Development of an Inventory Costing Methodology*. Chicago: National Council of Physical Distribution Management, 1976.

Lambert, Douglas M., James R. Stock y Lisa M. Ellram. *Fundamentals of Logistics Management*. Nueva York: McGraw-Hill, 1998.

Leenders, Michiel R., Harold E. Fearon, Anna Flynn y P. Fraser Johnson. *Purchasing and Supply Chain Management*, 12a. ed. Chicago, IL: Irwin, 2001.

Lewis, Howard T., James W. Culliton y Jack D. Steele. *The Role of Air Freight in Physical Distribution*. Boston: Division of Research, Graduate School of Business Administration, Harvard University, 1956.

Lieb, Robert C. *Transportation: The Domestic System*, 2a. ed. Reston, VA: Reston Publishing, 1981.

Losch, August. *The Economics of Location*. Nueva Haven, CT: Yale University Press, 1954.

Magee, John F. *Industrial Logistics*. Nueva York: McGraw-Hill, 1968.

Magee, John F., William F. Copacino y Donald B. Rosenfield. *Modern Logistics Management: Integrating Marketing, Manufacturing, and Physical Distribution*. Nueva York: John Wiley & Sons, 1985.

Martin, Andre J. *DRP: Distribution Resource Planning: The Gateway to True Quick Response and Continuous Replenishment*, ed. rev. Nueva York: John Wiley & Sons, 1995.

McKeon, Joseph E. (ed.) *Managing Logistics Change Through Innovative Information Technology*. Cleveland, OH: Leaseway Transportation Corporation, 1987.

Mirchandani, Pitu B. y Richard L. Francis. *Discrete Location Theory*. Nueva York: John Wiley & Sons, 1990.

Monczka, Robert, Robert Trent y Robert Handfield. *Purchasing and Supply Chain*

Management, 2a. ed. Mason, OH: South-Western College Publishing, 2002.

Morreale, Dick y Bob Elliott. *Logistics Rules of Thumb, Facts & Definitions V*. Sin publicar, 2001.

Morris, William T. *Analysis for Materials Handling Management*. Homewood, IL: Irwin, 1962.

Mossman, Frank H., Paul Bankit y Omar K. Helferich. *Logistics System Analysis*. Washington, DC: University Press of America, 1977.

Mulcahy, David E. *Warehouse Distribution and Operations Handbook*. Nueva York: McGraw-Hill, 1993.

Narasimhan, Seethrarama, Dennis W. McLeavy y Peter J. Billington. *Production Planning and Inventory Control*, 2a. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1995.

Novack, Robert A. "Quality and Control in Logistics: A Process Model," *International Journal of Physical Distribution & Materials Management*, Vol. 19, Núm. 11 (1989).

Orlicky, Joseph. *Materials Requirements Planning*. Nueva York: McGraw-Hill, 1975.

Plowman, E. Grosvenor. *Elements of Business Logistics*. Stanford, CA: Stanford University Press, 1964.

Raedels, Alan R. *Value-Focused Supply Management: Getting the Most Out of the Supply Function*. Nueva York: McGraw-Hill, 1994.

Robeson, James, F. y William C. Capacino, eds. *The Logistics Handbook*. Nueva York: The Free Press, 1994.

Rogers, Dale y Ronald S. Tibben-Lembke. *Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices*. Reno, NV: Reverse Logistics Executive Council, 1999.

Rose, Warren. *Logistics Management: Systems and Components*. Dubuque, IA: William C. Brown, 1979.

Sampson, Roy J., Martin T. Farris y David L. Schrock. *Domestic Transportation: Practice, Theory, and Policy*, 6a. ed. Boston: Houghton Mifflin, 1990.

Schary, Philip B. *Logistics Decisions*. Nueva York: Dryden Press, 1984.

Schary, Philip y Tage Skjott-Larsen. *Managing the Global Supply Chain*, 2a. ed. Copenhagen: Copenhagen Business School Press, 2001.

Shapiro, Jeremy F. *Modeling the Supply Chain*. Pacific Grove, CA: Duxbury, 2001.

Shapiro, Roy D. y James L. Heskett. *Logistics Strategy: Cases and Concepts*. St. Paul, MN: West, 1985.

Sherbrooke, Craig C. *Optimal Inventory Modeling of Systems: Multi-Echelon Techniques*. Nueva York: John Wiley & Sons, 1992.

Silver, Edward A. y Rein Peterson. *Decision Systems for Inventory Management and Production Planning*, 2a. ed. Nueva York: John Wiley & Sons 1985.

Simchi-Levy, Philip Kaminsky y Edith Simchi-Levy *Designing and Managing the Supply Chain: Concepts, Strategies, and Case Studies*. Nueva York: McGraw-Hill.

Smykay, Edward W., Donald J. Bowersox y Frank H. Mossman. *Physical Distribution Management*. Nueva York: Macmillan, 1961.

Stephenson, Frederick J. *Transportation USA*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1987.

Stock, James R. y Douglas M. Lambert. *Strategic Logistics Management*, 4a. ed. Nueva York: McGraw-Hill Irwin, 2001.

Sussans, J. E. *Industrial Logistics*. London: Gower Press, 1969.

Taaffe, Edward J., Howard L. Gauther, Jr. y Morton E. O'Kelly. *Geography of Transportation*, 2a. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1996.

Taff, Charles A. *Management of Physical Distribution & Transportation*, 6a. ed. Homewood, IL: Irwin, 1978.

Taylor, David H., ed. *Global Cases in Logistics and Supply Chain Management*. London: International Thomson Business Press, 1997.

Tersine, Richard J. *Principles of Inventory and Materials Management*, 4a. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1994.

Tompkins, James A. y Dale Harmelink, eds. *The Distribution Management Handbook*. Nueva York: McGraw-Hill, 1993.

Tompkins, James A. y John A. White. *Facilities Planning*. Nueva York: John Wiley & Sons, 1984.

Tyworth, John E., Joseph L. Cavinato y John C. Langley. *Traffic Management: Planning, Operations, and Control*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1987.

Vanbuijtenen, Pieter, Martin Christopher y Gordon Wills, eds. *Business Logistics*. The Hague: Martinus Nijhoff, 1976.

Vollmann, Thomas E., William L. Berry y D. Clay Whybark. *Manufacturing, Planning, and Control Systems*, 4a. ed. Nueva York: McGraw-Hill Irwin, 1997.

Waters, C. D. J. *Inventory Control and Management*. Nueva York: John Wiley & Sons, 1992.

Weir, Stanley. *Order Selection*. Nueva York: American Management Association, 1968.

Wentworth, Felix, Martin Christopher, Gordon Wills y Bernard Lalonde. *Managing International Distribution*. Hampshire England: Gower Press, 1979.

Wentworth, F. R. L. *Physical Distribution Management*. London: Gower Press, 1970.

Werner, Pamela A. *A Survey of National Geocoding Systems*, Informe núm. DOT-TSC-OST-74-26. Washington, DC: U.S. Department of Transportation, 1974.

Wight, Oliver W. *MRPII: Unlocking America's Productivity Potential*. Boston: CBI Publishing, 1981.

Wood, Donald F., Anthony P. Barone, Paul R. Murphy y Daniel Wardlow. *International Logistics*. Nueva York: AMACOM, 2002.

Wood, Donald F. y James C. Johnson *Contemporary Transportation*, 5a. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1996.

Wood, Donald F., Daniel L. Wardlow, Paul R. Murphy y James C. Johnson. *Contemporary Logistics*, 7a. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1999.

Yaseen, Leonard C. *Plant Location*. Larchmont, Nueva York: American Research Council, 1960.

Zenz, Gary J. *Purchasing and the Management of Materials*, 7a. ed. Nueva York: John Wiley & Sons, 1994.

Zipkin, Paul H. *Foundations of Inventory Management*. Nueva York: McGraw-Hill, 2000.

ÍNDICE DE AUTORES

A

Ackerman, K.B., 522
Agarwal, Y.K., 240, 243
Akinc, U., 564
Albaum, G., 295
Albaum, G.S., 182
Allen, M.K., 649, 756, 757
Andel, T., 133, 159, 334
Andersen, D.R., 592, 593, 650
Ansberry, C., 183
Aquilano, N.J., 295
Archibald, B., 365
Armour, G.C., 534, 536
Armstrong, J.S., 295, 312, 314
Arntzen, B.C., 566
Artman, L.B., 502
Aviv, Y., 295
Axsäter, S., 350

B

Bagchi, P.K., 649
Ball, J., 123
Ballou, R.H., 42, 106, 109, 167, 241, 243, 382, 385, 388, 405, 539, 540, 560, 564, 573, 574, 581, 582, 639, 643, 647, 661, 709, 710
Bankit, P., 654, 655
Baritz, S.G., 96, 97, 103, 104, 106
Bartholdi, J.J., III, 516
Bassan, J., 516
Batra, M., 412
Beckman, T.N., 76
Belardo, S., 649
Bender, P., 564
Bender, P.S., 70, 105, 643
Bergerac, M.C., 326
Berry, W.L., 267
Billington, C., 50
Blanding, W., 92, 104
Blomquist, J.A., 510
Bonabeau, E., 230, 542
Bonney, J., 17
Bookbinder, J., 649
Bowerman, B.L., 295
Bowersox, D.J., 4, 50, 51, 108, 373, 539, 560, 571, 646, 668, 696
Bowman, E.H., 563
Box, E.P., 295
Boyson, S., 742
Bozer, Y.A., 535
Brandeau, M.L., 551, 564, 573
Brimley, J., 636
Brown, G.G., 566
Brown, R.G., 295, 303, 355, 368
Buffa, E.S., 534, 536
Burdick, R.K., 96, 97
Burenetas, A., 385, 388

C

Calabro, P.J., 182
Camp, R., 638
Carlson, J.G., 535
Carlsson, T., 63
Carroll, L., 33
Carter, B., 50
Cavusgil, S.T., 649
Chambers, J.C., 295
Chan, H., 295
Chase, R.B., 295
Chen, F., 667
Cheung, W., 662
Chisman, J.A., 534
Chiu, S.S., 551, 564, 573
Christofides, N., 106
Clancy, D.A., 502
Clarke, G., 243
Closs, D.J., 646
Colin, 295
Collins, J., 744
Collins, R.S., 443
Collopy, F., 295, 312, 314
Commandeur, H.R., 50
Cook, R.L., 649, 650
Cooke, J.A., 316
Cooper, L., 560
Copacino, W.C., 35, 36, 38, 571
Corsi, T.M., 742
Coykendale, C.L., 564
Craig, C.S., 592
Culliton, J.W., 173

D

Danzig, G.B., 250
Daskin, M.S., 582
Daugherty, P.J., 696
Davidson, W.R., 76
Davies, A.L., 531, 532
Davis, H.W., 15
Davis, J.A., 9
Davis, T., 361
Dawe, R.L., 130
DeHayes, D., 638
DeHayes, D.W., Jr., 170, 701
Delaney, R.V., 14
Deutsch, S.J., 531
DeWitt, W., 5, 6
Dickey, S., 142
Doctker, J.E., 93
Dresner, M.E., 742
Drezner, Z., 551, 667
Drucker, P.F., 1, 33, 691
Drumm, W. H., 15
Duchessi, P., 649
Dupuit, J., 3–4

E

Edmundson, R.H., 312
Emmelhainz, L.W., 701
Emmons, H., 235
Erlebacher, S.J., 535, 582

Erlenkotter, D., 582
Ernst, K.R., 34, 37
Evans, M., 295
Evers, P.F., 220

F

Fawcett, S.E., 6
Fearon, H.E., 425, 448
Fisher, M.L., 53, 295, 317
Flossie, B., 412
Flowers, A.D., 235, 305, 403
Flynn, A., 425
Forrester, J.W., 295
Francis, R.L., 513, 534
Franz, L.S., 649
Frazelle, E., 537
Friedrich, C.J., 552
Fulkerson, D.R., 250

G

Gabbard, M.C., 531, 532
Gendreau, M., 236, 240
Geoffrion, A.M., 563, 564, 565, 616
Georgoff, D.M., 295
Gerson, M.L., 571
Gervais, D., 649
Gilbert, S.M., 709, 710
Gill, L.E., 358
Gilmore, G.A., 302
Gilmour, P., 373, 646
Glanton, C., 405
Glaskowsky, N.A., Jr., 108
Goetschalckx, M., 534
Gosh, A., 590, 592
Graves, G.W., 564, 565, 616
Graves, S.C., 543
Green, P.E., 295
Greenhut, M.L., 552
Gue, K.R., 516
Guerra, P., 130, 430
Gurin, R., 160

H

Hale, B.J., 120
Hall, A.E., 560
Hall, J.R., 37
Hall, P.K., 220
Hall, R., 361
Hall, R.W., 232
Hamburger, M.J., 573
Hamilton, A., 550
Hammond, J.H., 295, 317
Hancock, C.E., 516
Handfield, R.B., 5, 425
Harler, C., 133
Harmon, C., 134
Harpell, J.L., 646
Harper, D.V., 220
Harrington, L.H., 211, 212, 742
Harrington, T.C., 95, 96, 167
Harris, F.W., 345
Harrison, T.P., 566
Hass, R.M., 589
Hausman, W.H., 543
Hayya, J., 295
Heizer, J., 449
Helferich, O.K., 373, 646, 649, 654, 655, 756, 757
Hertz, A., 236, 240
Heskett, J.L., 92, 103, 108, 531, 709
Hill, T., 295
Hillier, F.S., 583, 645
Hinkle, C.L., 647
Ho, P.-K., 582
Hogarth, R.M., 297
Hoguet, P., 295
Hoover, E.M., 552, 554–55
Hopkins, L.D., 535
House, R.G., 358, 643
Huff, D.L., 589

I

Innis, D.E., 96
Isard, W., 552
Isoma, G., 358
Ivie, R.M., 108

J

Jackson, D.W., 96, 97
Jenkins, C.H., 516
Jenkins, G.M., 295
Johnson, M.E., 361
Johnson, R.V., 535
Johnston, J., 295
Juran, J.M., 63

K

Kallina, C., 531
Kallock, R., 34
Karrenbauer, J.J., 564
Kearney, A.T., 696, 702
Keebler, J.E., 98
Keebler, J.S., 5, 6
Keith, J.E., 96, 97
Kelton, W.D., 667
Khumawala, B.M., 564
Kotler, P., 295
Kott, C.M., 235
Kraemer, H.F., 516
Krenn, J.M., 103, 106
Kuehn, A.A., 573, 647
Kutner, M.H., 295, 307, 309
Kyj, L.S., 92
Kyj, M.J., 92

L

LaLonde, B.J., 14, 93, 94, 96, 131, 167, 338, 522, 701, 715
Lambert, D.M., 94, 95, 96, 103, 167, 220, 338, 653
Lane, M.S., 646
Laporte, G., 236, 240
Law, A.M., 667
Lawrence, G.L., 646
Lawrence, J.G., 9
Lawrence, M. L., 373
Lawrence, M.J., 312
Lee, H.L., 50, 361
Lee, S.M., 564
Leeders, M.R., 425, 448
Leontief, W.W., 295
Leubbe, R.L., 564
Leung, L.C., 662
Levitt, T., 22
Lewis, H.T., 173
Lewis, M.C., 220
Lieb, R., 720

Lieberman, G.J., 645
Lin, B., 744
Ljundberg, A., 63
Lombardi, V., 501
Lösch, A., 552
Love, R., 636
Love, R.F., 561, 564
Lynn, J., 531

M

Madden, K.H., 247
Maffei, R.B., 570, 571, 646
Magan, G.M., 6
Mahmoud, E., 312
Makridakis, S., 297, 312
Malmborg, C.J., 531
Manrodt, K.B., 98
Mansour, A.H., 646
Marien, E.J., 373, 646
Marr, N.E., 96
Marshall, K., 693
Martha, J., 121
Masters, J.M., 564, 573
Mathur, K., 235
McClain, J.O., 25
McGinnis, M.A., 220
McKaige, W., 723
McLafferty, S.L., 590
Meller, R.D., 535, 582
Mentzer, J.T., 5, 6
Merrick, A., 18
Meyer, C., 230, 542
Miller, R., 98
Min, S., 5, 6
Miracle, G.E., 182
Mitri, M., 649
Moder, J.J., 539, 540
Monczka, R., 425
Moorthy, K.S., 592
Morgan, F.W., Jr., 373, 646
Morreale, D., 182
Morton, R., 22
Mossman, F.H., 4, 654, 655
Mukherjee, A., 710
Mulick, S.K., 295
Muller, E.J., 23, 717
Murdick, R.G., 295
Murphy, P.R., 220

N

Nag, B.N., 649
Needham, P.M., 220
Neter, J., 295, 302, 307, 309
Nichols, E.L., Jr., 5
Nix, N.W., 5, 6
North, H.Q., 295
Northrup, W., 564
Norusis, M.J., 309

O

Obermeyer, W.R., 295, 317
O'Connell, R.T., 295
O'Conner, M., 295
O'Connor, M.J., 312
Olson, D.R., 522
Ozsomer, A., 649

P

Pagonis, W., 62
Palander, T., 552
Partyka J.G., 232
Perl, J., 582
Perreault, 109
Peterson, R., 365
Piercy, J.E., 167, 169, 170
Pirkul, H., 595
Pope, K., 22
Powers, R.F., 648
Powers, T.L., 646
Puu, T., 552
Pyke, D.L., 295

R

Rahardja, H., 639
Raman, A., 295, 317
Ratliff, H.D., 534, 638
Rector, P., 9
Reilly, W.J., 589
Reinholdt, E.F., 531, 532
Reitman, V., 431
Remus, W., 295
Render, B., 449
Richardson, H.L., 498
Rinaldi, D., 270
Robeson, J.F., 358, 643
Rogers, D.S., 130
Rogers, R.T., 373, 646
Roll, Y., 516
Ronen, D., 646
Rosenblatt, M.J., 516
Rosenfield, D.B., 571
Rosenfield, R.B., 35, 36, 38
Russ, 109
Ryan, J.K., 667

S

Sakai, N., 639
Sawabini, S., 133
Schilling, D.A., 595
Schon, S., 649
Schwarz, L.B., 543
Seagle, J.P., 649
Shapiro, J., 564
Sharman, G., 23
Shear, H.S., 9
Shycon, H.N., 103, 106, 570, 646
Silvers, E., 365
Simchi-Levi, D., 667
Simon, H.A., 730
Sloan, R., 571, 697
Smith, B.T., 295
Smith, C.D., 5, 6
Smith, D.D., 295
Smykay, E.W., 4
Snyder, R.E., 14
Speh, T.W., 510
Spencer, M., 295
Steele, J.W., 173
Stenger, A.J., 651–52
Stephens, S., 752
Stephenson, 106, 109
Sterling, J.U., 94, 103, 653
Stern, L.W., 709
Stewart, J.B., 563
Stewart, W.M., 14
Stock, J.R., 167, 220
Su, R.K., 744
Subbakrishna, S., 121
Sutherland, J.L., 358
Sweeney, D.J., 582, 592, 593, 650

T

Taff, C.A., 195, 212
Tatham, R.L., 582
Taylor, R.L., 701
Tersine, R.J., 456
Thomas, L.J., 25
Thorton, H.M., 539, 540
Trafton, L.L., 566
Trent, R., 425
Truscott, W.G., 582
Trybus, T.W., 535
Tucker, F.G., 93, 738
Tull, D.S., 295

V

Vail, B., 20
Van Hoek, R.I., 50
Van Roy, T., 582
Verity, J., 316
Vollman, T.E., 534, 536
Von Thünen, J.H., 552, 553
Vos, B., 50

W

Warner, P.A., 627
Wasserman, W., 295, 302, 307, 309
Watson-Gandy, C.D.T., 106
Weber, A., 552, 553–54, 561
Weir, S.M., 486
Wesolowsky, G.O., 561, 582
Wheelwright, S.C., 377
White, J.A., 522, 534
Whitemore, G.A., 295
Whybark, D.C., 304, 443
Wight, O.W., 295
Willett, 106, 109
Williams, T.A., 592, 593, 650
Wilson, H.G., 531
Wilson, R.A., 14, 168, 171, 179
Winkler, R.L., 312
Wong, Y.M., 662
Woodmansee, J., 649
Wren, C., 618
Wright, J.W., 243

Y

Yao, A.C., 535

Z

Zacharia, Z.G., 5, 6
Zarnowitz, V., 312
Zhang, X., 638
Zinn, W., 50, 51
Zinszer, P.H., 14, 93, 94, 96, 131
Zissman, L., 96, 97, 103, 104, 106
Zivan, S.M., 738

Índice analítico

A

ABC, clasificación, de productos, 69
  en el control agregado de inventarios, 376-78
Adquisición por contrato, 458
Agentes, transportación, 178-79
  internacional, 183-84
Ahorros, al medir el desempeño de la cadena de suministros, 57
Alianzas, 716-24
  beneficios de las, 716
  logística, 719-20
  toma de decisiones en, 718-19
Almacén(es)
  configuración de, 513-16
    altura del techo en, 51
    longitud versus amplitud en, 513-16
  de distribución, 474-75, 476, 477
  diseño de plataforma, 520-22
    de camiones, 521-22
    ferroviaria, 520-21
  diseño y operación de, planeación para, 503-22
  distribución, 474-75, 476, 477
  de espacio en, 516-19
    del producto en, decisiones sobre, 528, 530-41
      disposición del inventario en, 530-37
      perfiles de actividad en, 537-38
  manejo de materiales (*Ver* Materiales, manejo de)
  métodos de localización-identificación de inventario en, 540-41
  privado, costos y tarifas, 495-96, 497-98
  público
    consideraciones legales, 484-85
    costos y tarifas de, 493-95
    documentación y, 484-85
    servicios ofrecidos, 581-84
      almacenamiento de campo, 483
      detección de inventario como, 483
      enlaces, 483
      rastreo de pedido, 483-84
    tipos de, 480
    ventajas inherentes de, 480-81
  selección de sitio para, 502-3
  tamaño de, 503-9
    análisis sin tendencia en, 504-8
    método de, valuación de, 508-9
  tipo de espacio financiero para,
    selección mediante, 509-12
  ubicación, dinámica, 582-86
  virtual, 496, 498
Almacenamiento
  de campo, 483
  distribución de espacio para, 488
  en tránsito, 486-86
  instalaciones para (*Ver* Almacenes)
  virtual, 496, 498
Almacenes de, bienes domésticos, 480
  mercancías generales, 480
  productos o mercancías, 480
  temperatura controlada, 480
  volúmenes grandes, 480
Alternativas de almacenamiento, 479-86
    en tránsito, 485-86
  espacio, arrendado, 485
    rentado, 479-85
  propiedad del espacio, 479
Análisis de regresión múltiple, en pronósticos, 309
Análisis de ubicación al menudeo y servicio, 587-94
  de regresión, 591-92
  lista de verificación ponderada, 587-89
  modelo de, cobertura, 592
    interacción espacial, 589-91
    ubicación-asignación, 592
  teoría de juegos, 592
Análisis de ventajas y desventajas, 44
Aplazamiento de, ensamblado, 51
  forma, 50, 51
Apoyo entre líneas de transporte, cargos por, 209
Arranque, problemas de predicción, 310
Asociación mediante la colaboración, 722-24
Auditoría(s)
  de niveles de servicio al cliente en la planeación de red, 652-53

evaluación por comparación de la, con otras empresas, 741-43
factura de flete, 740
en el sistema de administración de la transportación, 152-53
función total, 739
inventario, 740
logística y control de la cadena de suministros en, 738-43
Auditorías de, factura de carga, 740
inventario, 740

C

Cadena de suministros (SC), 7-9
definición, 5
diseño del canal, 53-57
eficiente, 53-55
extendida, 13
planeación integrada de, 668
requerimientos, pronósticos, 286-325 (*Ver también* Pronósticos)
sensible, 53-57
ubicación de instalaciones, 550-617 (*Ver también* Instalación(es), ubicación de)
Canal de, distribución física, 7
suministros, coordinación en, 425-27
físico, 7
inventarios en, 327 (*Ver también* Inventario(s))
Canal inverso de la logística, 7-8
Cantidad de, carga de un carro, transportación ferroviaria, 172
liberación de orden, en la planeación de requerimientos de materiales, 441-42
pedido, repetitivo, 344-48
sencillo, 342-44
Características de riesgo, de productos, 74-75, 76
Carga
como función de manejo de materiales, 477-78
de todo tipo (FAK)
tarifa de transportación, 201
en contenedor, 177-78
fijación de precios de igualamiento, 79, 81
pago de cuentas y auditoría, sistema de manejo de la transportación, 152-53
suelta o a granel, como función del sistema de almacenamiento, 475, 477
consolidación de
decisiones sobre, 252-54
sistema de manejo de la transportación, 151
Centralización, de la organización, 705-6
Cobros por, demora, 210-11
detención, 210-11
COFC. *Ver* Contenedor sobre plataforma
Colaboración, asociación mediante, 722-24
Combinación del riesgo, en control agregado de inventarios, 378-82
Comercio electrónico, sistema de información logístico y, 159-60
Competencia, transportación y, 165-66, 222, 224
Compra de avenencia, 456-58
Compras, 13, 446-61
acuerdo de, 456-58
cantidades de pedido y sincronización en, 450-58
descuentos de cantidad para, 453-58
estrategia de compra mixta para, 450-52
promedio de dólar para, 452-53
caso de estudio sobre, 468
contratación en, 458-61
fija, 458-60
flexible, 461
importancia de, 447-49
términos de venta y manejo del canal, 461
Comunicación por satélite, en el rastreo de envíos, 152
Concepto de, centro de utilidades, en logística y control de la cadena de suministros, 736-37
costo total, 44-47
ubicación de concentrador y periferia, 595
Configuración de red
análisis de escenarios, 661
datos comparables en, 661-62
diseño, del análisis de año en, 662
práctico, 660-61
en la planeación de red, 656-62
establecimiento de, costos de evaluación por comparación, 656-59
niveles de servicio en, 656-59
evaluación por comparación mejorada en, 660
maximización de la oportunidad en, 660
Conmutación, cargos por, 210
Conocimiento de embarque, 212-13, 485
Consideraciones legales, para almacenes públicos, 484-85
Consolidación
de almacén, 252, 254
de vehículo, 252
temporal, 254

como función del sistema de almacenamiento, 473-75, 476
en la planeación estratégica, 52-53
flete
decisiones sobre, 252-54
en el sistema de manejo de la transportación, 151
Contabilidad, informes de, en el proceso de planeación de red, 623
Contenedor sobre plataforma (COFC), 177
Continuidad de rutas, 246-48
Contratación, 458-61
fija, 458-60
flexible, 461
Control, 726-60
Ver también Logística y cadena de suministros, control de la
Control agregado de inventarios, 376-84
agrupación de riesgos, 378-82
clasificación ABC de producto en el, 376-78
índices de rotación en el, 376
límite de inversión total en el, 383-84
Control de artículo sencillo, en el control de inventario de revisión periódica, 358-61
Control de demanda de inventarios,
avanzado, 348-73
básico, 342-48
cantidad de pedido, sencillo, 342-44
repetitivo, 344-48
método(s) de múltiple artículo, múltiple ubicación, 368-70
prácticos, 363-73
modelo de punto de reorden
costos de déficit de inventario desconocidos, 353-54
demanda incierta, 349-53
incertidumbre de demanda y de tiempo de espera, 355-57
modelo de revisión periódica, con demanda incierta, 357-63
control de artículo sencillo en, 358-61
pedidos conjuntos en, 361-63
sistema, de inventario para demanda, 368
mín-máx, 363-68
multiescala, 370-73
Control de inventario de, incremento, 340-42
verificación periódica, 357-63
control de un solo artículo en, 358-61
pedido conjunto en, 361-63
punto de reorden
costos de déficit de inventario conocidos, 353-54
demanda incierta, 349-53
costo total relevante en, 352
nivel de, inventario promedio en, 351-52
servicio en, 352-53
incertidumbre de demanda y de tiempo de espera, 355-57
Control de ubicación múltiple, artículos múltiples, del control de inventarios, 368-70
Costeo de transportista privado, 211-12
Costo(s)
capital, 338
de pedido atrasado, 339
de venta perdida, 339
espacio, 338
evaluación por comparación, establecimiento dentro de la configuración de red, 656-59
falta de existencias, 339-40
conocida, control de inventario de punto de reorden con, 353-54
infraestructura, dentro de la planeación de red, 638, 640, 641
logística, en la auditoría de función total, 739
manejo de la logística y del canal de suministros, 28
planeación y, 43
pedido atrasado, 339-40
producción, reducción de, almacenamiento, 470-71
reducción de
como objetivo estratégico, 36
inventarios en, 329-30
relevante para el manejo de inventarios, 337-40
riesgo de inventario, 339
servicio de inventario, 339
servicio *versus*, 109-10
servicios de transportación, 184-89 (*Ver también* Tarifa(s) de transportación)
sistemas de almacenamiento, 493-96
transportación, reducción de, almacenamiento en, 470-71
transporte de regreso, 186-87
transportista privado, 211-12
traslado, 338-39
venta perdida, 339
Costos de,
abastecimiento, en el manejo de inventarios, 338

capital, 338
espacio, 338
transportación, comunes, 185-86
conjuntos, 185-86
fijos, 185
variables, 185
manejo del inventario, 338-39
transporte de línea, 185, 193-205
ver también Tarifas de transportación, Transporte de línea
transporte de regreso, 186-87
riesgo de inventario, 339
servicio de inventario, 339
logísticos, en la auditoría de función total, 739
acción correctiva, 751-52
ajustes menores, 751
auditorías. (*Ver también* Auditorías)
concepto de centro de utilidades, 736-37
diagrama gráfico de desempeño, 748-50
en la práctica, 736-38
esquema, 727-33
informes, 744-50 (*Ver también* Informes)
inteligencia artificial, 754-58
por déficit de inventario, conocidos, inventario de punto de reorden, 353-54
por falta de existencias, 339-40
Costo-servicio, informes, 744-47
Cuestiones legales, sobre la fijación de precio del producto, 84
Cumplimiento del pedido, 135-36
como función del manejo de materiales, 478-79
Curva 80-20, 68-71
Curva de rendimiento de inventario, 381-82
Curvas oferta-renta, 553

D

Daños
reclamaciones por, 213-14
selección del servicio de transportación y, 169, 171
Datos, para el proceso de planeación de red
codificación, 624-28
geográfica, 624-28
conversión, a información, 628-43
agrupación de producto en, 628-29
capacidades de infraestructura en, 641
concentración de ventas en, 633-35
costos de infraestructura en, 638, 640, 641
estimación de la demanda futura en, 643
estimación de la tarifa de transporte en, 629
estimados de kilometraje en, 635-38, 639
registros de pedido y envío en, 632-33
relaciones de inventario-rendimiento total, 641-43
transporte para alquilar en, 630-32
transporte privado en, 629-30, 31
unidades de análisis en, 628
fuentes de, 622-24
lista de comprobación de, 621-22
Decisiones de transporte
estudio de casos, 267-85
selección de servicio, 167-71, 220-22 (*Ver también* Sistema de transportación, opciones de servicio)
sobre, consolidación de carga, 252-54
direccionamiento de vehículo, 225-52 (*Ver también* Direccionamiento de vehículos)
Decisiones, sistemas de apoyo, 160-61
en la estrategia de la logística y la cadena de suministros, 737-38
Declive, en la relación ventas-servicio, 106-7
Demanda
de espacio, pronóstico, 287-88
derivada, pronóstico, 288, 290
independiente, pronóstico, 288-290
irregular
problemas de predicción, 310-11
pronóstico, 288, 290
regular, pronóstico, 288, 289
temporal, pronóstico, 287-88
control de inventario de punto de reorden, 349-53, 355-57
coordinación de la oferta con, almacenamiento en la, 471
en la auditoría de la función total, 739
en manejo del inventario, 332-33
incierta, en la planeación de requerimientos de materiales, 438-40
planeación y, 43
pronóstico, 287-91

revisión de control de inventario periódica con, 357-63
Descarga, como función del manejo de materiales, 477-78
Descentralización, de la organización, 705-6, 707
Descomposición de series de tiempo clásica, en pronósticos, 305-8
Descuentos de cantidad, 84-86
en compras, 453-58
Desvío, del envío, cargos por, 205-6
Detección de inventario, como servicio de almacenamiento público, 483
Dirección, de la cadena de suministros (SCM), 4-7
Ver también Logística y manejo de la cadena de suministros
interfuncional, en la organización de la logística y la cadena de suministros, 708-9
interorganizativa, 709-16
Direccionamiento de vehículo, 225-52
método de la ruta más corta de, 225-30
para puntos de origen y destino coincidentes, 232-35
con puntos, espacialmente relacionados, 233-34
sin relación espacial, 234-235
para puntos de origen y destino, múltiples, 230-31
sencillos e independientes, 225-30
por barrido, 241-43
y programación, 235-52
método de, "ahorros" de, 243-46
"barrido" de, 241-43
para, 240-46
implementación de, 248-49
principios para, 236-40, 241
secuenciación de ruta en, 246-48
Disponibilidad de inventario, en el tiempo de ciclo de pedido, 99-100
Distribución de espacio, 487-90
para, almacenamiento, 488
selección de pedidos, 488-90
Distribución diferenciada, 47-48
normal, estandarizada, áreas bajo, 761-65
Distribución normal estandarizada, áreas bajo, 761-65
Documentación por,
almacenes públicos, 484-85
transporte de carga, 212-15
Documentos de operación del negocio, en el proceso de planeación de red, 622-23

E

Economía de direccionamiento, 243-46
Economías de escala, transportación y, 166
Ejército, logística y manejo de la cadena de suministro en, 22-23
Embalaje, 13
de producto, 76-77
Encuestas al comprador, en la modelación de la relación ventas-servicio, 109
Enlaces, en el diagrama de red, 41-42
Entarimado, 487
Envío(s)
consolidación, 146
preparación, en el sistema de manejo de almacén, 149-50
programación, en el sistema de manejo de la transportación, 151
seguimiento, en el sistema de manejo de la transportación, 151-52
tamaño del, tarifa de transportación, 201-4
Equipamiento
almacenamiento, en el manejo de materiales, 490
manejo de materiales, reemplazo de, 527-28, 529
movimiento, en el manejo de materiales, 490-93
Error de pronóstico, problemas de predicción, 311-14
Espacio arrendado, para almacén, 485
costos y tarifas para, 495
Especulación, inventarios para, 331
Establecimiento de zonas,
en la distribución de selección de pedidos, 490
recolector, 542
Estándares de condición del pedido, 102
Estandarización, en la planeación estratégica
Estrategia corporativa, 34-35
Estrategia de compras mixtas, en adquisiciones, 450-52
Estrategia de la logística y de la cadena de suministros, 35-37
auditorías, 738-43
desempeño, medición, 57-58
formulación,
concepto de costo total, 44-47
consolidación, 52-53
distribución diferenciada, 47-48

estandarización, 53
estrategia mixta, 48-49
lineamientos, 44-53
postergación, 50-52
selección, 53-57
suministro para, inventario, 53-55
pedido, 53-57
Estrategia del canal de suministros, para inventario, 53-55
para, pedido, 53-57
Estrategia, logística y cadena de suministros, 35-37
Ver también Logística y estrategia de la cadena de suministros
Estrategias de visión, 34
Evaluación por comparación con otras empresas en auditorías, 741-43
en la planeación de red, 655,56
Experimentos antes-después, en la modelación de la relación ventas-servicio, 108
Exportación, documentación para la, 214

F

Factura de carga, 213
FAK. *Ver* Tarifa de carga de todo tipo
Fianzas, como servicio de almacenes públicos, 483
Fijación de precio,
de producto, 77-86
acuerdos de incentivos, 84-86
compensación de carga, 79, 81
cuestiones legales sobre, 84
de zona, 79, 81, 82-83
libre a bordo (l.a.b), 78-79, 80
métodos geográficos de, 77-83
punto de base, 81
sencillo, 79
uniforme, 79
de punto de base, 81
de servicios de transportación, selección de servicio y, 167-68
l.a.b., 78-79, 80
política sobre, planeación y, 43-44
por zona, 79, 81, 82-83
uniforme, 79
Flexibilidad, como alternativa para los pronósticos, 316-17
Flujo de efectivo, medición del desempeño, estrategia de la cadena de suministros, 57
Fragmentación organizativa, necesidad de estructura organizativa, 692-94
Función de pérdidas, 114-16

G

Geocodificación, de datos en el proceso de planeación de red, 624-28
Globalización, suministro y líneas de distribución y, 15-17

I

Importación, documentación para, 215
Imprecisiones de datos, sensibilidad del control de inventario, 347
Incentivos de precios, acuerdos de, 84-86
Índice, peso-masa, 72-73
valor-peso, 73-74
Índices de rotación, en el control agregado de inventarios, 376
Industria de servicios, logística y manejo de la cadena de suministros, 21-22
Industrias, clasificación de, ubicación de instalaciones y, 553-54
Informe(s)
de productividad, 747-48
de sobrantes, carencias y daños, 485
del estado del pedido, 136-37
del estatus de inventario, 485
contables, en el proceso de planeación de red, 623
costo-servicio, 744-47
de término, breve, de daños, 485
en logística y control de la cadena de suministros, 744-50
productividad, 747-48
estatus de inventario, 485
Ingreso, del pedido, 133-35
logística e, 27-28
Instalación(es)
almacenamiento (*ver* Almacenes)
capacidades de las, en la planeación de red, 640
clasificación de Weber de industrias, 553-54
costos de, en la planeación de red, 638, 640, 641
ubicación
clasificaciones de problemas, 551-52
concepto de concentrador y periferia, 595
curvas de oferta-renta y, 553
decisiones sobre, 550-617
dinámica, 582-86
discreción de opciones, 551-52
estrategia, 40
estudio de caso, 607-15, 669-73

grado de acumulación de datos, 552
horizonte de tiempo, 552
impulsor, 551
microubicaciones, 595
múltiple, 562-82
evaluación de métodos, 581-82
de programación lineal entera mixta, 564-69
de simulación, 569-72
del centro de gravedad, 563-64
exactos, 563-69
heurísticos, 563-69
número de instalaciones, 551
para instalaciones molestas, 595
perspectiva histórica, 552-55
simple, 555-62
evaluación de, 561-62
modelo para, extensiones, 560
suplemento técnico, 616-17
tarifas de transporte convergentes de Hoover, 554-55
Instalaciones dañinas, ubicación, 595
Inteligencia artificial, enlaces de control para, 754-58
vínculos de control, 754-58
Internacionalización, líneas de suministro y distribución, 15-17
Internet, planeación del pedido basado en la Web, 141-145
Interrupción del sistema, 119-23
Inventario(s)
acumulación de producto y, 334
argumentos contra, 330
argumentos para, 328-30
consolidación de, 252
control, 340-85
agregado, 376-84 (*ver también* Control agregado de inventarios)
básico por demanda (pull), 342-73 (*Ver también* Control de inventario por demanda)
como servicio público de almacén, 483
determinado por la oferta, 384-85
en tránsito, 374-75
por incrementos (push), 340-42
decisiones de política sobre, 326-423 (*ver también* Inventario(s), control de; Inventario(s), manejo de)
decisiones sobre, en el diseño del sistema, 40-41
de seguridad, en inventarios virtuales, 386-87
en ductos, 330
en tránsito, 374-75
estudio de caso, 403-23
evaluación, 328-30
manejado por el vendedor, 157-59
manejo de
costos relevantes, 337-40
demanda y, 332-33
disponibilidad del producto, 336-37
en el sistema de manejo del almacén, 149
filosofía de, 333-34
objetivos, 335-40
problemas en, clasificación, 331-35
mantenimiento de, 12
multiescala, 334-35
para especulación, 331
regular, en inventarios virtuales, 386
tipos de, 330-31
virtual, 335-385-89
Inventarios, en ductos, 330, 374-75
multicategorías, 334-35
en el control de inventario, 370-73
Inversión, rendimiento sobre, en la medición del desempeño de la estrategia de la cadena de suministros, 57
Investigación de logística, en el proceso de planeación de red, 623

J

Juegos, en la modelación de la relación ventas-servicio, 108-9
Justo a tiempo, programación de la distribución, 442-46
manejo integrado de la cadena de suministros, 443-45

K

KANBAN, 430-32
Kilometraje, estimados de, en la planeación de red, 635-38, 639

L

Ley de Pareto, 68
Límite de inversión total, en el control agregado de inventarios, 383-84
Líneas de, distribución, prolongación y mayor complejidad de, 15-17
suministro, prolongación y creciente complejidad de, 15-17
LIS. *Ver* Sistema logístico de información
Logística de los negocios, 1-32
definición de, 3-7
gerencia, 3-7

Ver también Logística y manejo de la cadena de suministros
Logística por contrato, 720-22
Logística y cadena de suministros, planeación de la, 38-53
áreas principales, 39-41
conceptualización, 41-42
niveles, 38-39
planeación, 42-44
Logística y control de la cadena de suministros, 726-60
metas de servicio, 736
modelo, 727-30
entradas, proceso y salida, 728
estándares y objetivos, 729
vigilancia, 729-30
planes de contingencia, 752
política de fijación de precios, 740
presupuesto, 736
replaneación mayor, 751
Logística y manejo de la cadena de suministros
actividades, clave, 10-11, 12
de apoyo, 11, 12-13
cadena de suministros, 7-9
costos, 13-14
en áreas no manufactureras, 20-24
en el ejército, 22-23
en la empresa, 24-27
en la industria de servicios, 21-22
estudio, método para, 28-30
importancia, 13-24
estratégica, 17-18
medio ambiente, 23-24
mezcla de actividades, 9-13
objetivos, 27-28
planeación, 28-30, 33-61
rápida respuesta, 19-20
valor al cliente, 18-19
Logística y manejo de la cadena de suministros
en la empresa, 24-27
objetivos de, 27-28
Logística, contrato, 720-22

M

Manejo de materiales
como función del sistema de almacenamiento, 477-79
consideraciones, 486-93
distribución del espacio, 487-90
equipo para, reemplazo de, 527-28, 529
operaciones de selección de pedidos, 541-44
selección del equipo de, almacenamiento, 490
movimiento, 490-93
sistema para,
diseño, 522-41
tipo, 523-27
unificación de carga, 486-87
Manejo del canal, 461
de suministros integrado, 443-45
Manejo del conflicto
distribución de beneficios, 713
estrategias, 714-16
necesidad de métricas, 712-13
uso compartido de la información, 713
Manejo del entorno, manejo de la logística y la cadena de suministros, 23-24
Manejo del pedido, 541-43
Mantenimiento de información, 13
Marketing
logística y, 25, 26-27
sistema de almacenamiento y, 472
Mejora de servicio, como objetivo estratégico, 36-37
Método(s),
de dos puntos, de la modelación de la relación de ventas-servicio, 107-8
de múltiple centro de gravedad, para la ubicación de instalaciones, 563-64
de transportación, 230-31
geográficos de fijación de precio, 77-83
Mezcla, como función del sistema de almacenamiento, 477, 478
Minialmacenes, 480
Modelo(s), de optimización, en el proceso de planeación de red, 647-49
de referencia de las operaciones de la cadena de suministro (ROSC), 752-54
de simulación, en el proceso de planeación de red, 645-46
instalación-ubicación, 569-72
de sistemas expertos, en el proceso de planeación de red, 649-50
heurísticos
de selección de la ubicación de instalaciones, 573-81
evaluación selectiva, 574-78
programación lineal guiada, 578-81
en el proceso de planeación de red, 646-47
ROCS. *Ver* Modelo de referencia de operaciones de la cadena de suministros
Movimiento, hacia y desde el almacenamiento, como función de manejo de materiales, 478

N

Nivelación o uniformidad exponencial, en pronósticos, 297-305
  corrección por tendencia en, 299-300
    y estacionalidad en, 300-301
  error en
    definición, 301-4
    monitoreo, 304-5
Niveles de servicio, evaluación por comparación, establecimiento, en la configuración de red, 656-59
Nodos, en el diagrama de red, 41-42

O

Objetivos de servicio, logística y control de la cadena de suministros, 736
Operaciones de selección de pedido, 541-44
  establecimiento de estándares como, 543-44
  intercalado como, 543
  manejo de pedido como, 541-43
Organización de la logística y de la cadena de suministros, 691-725
  alianzas, 716-24
  desarrollo, 696-97
  descentralización y centralización, 705-6
  dirección, interfuncional, 708-9
    interorganizativa, 709-16
  estrategia de, información, 704
    mercado, 704
    proceso y, 704
  formal, 701-4
  grande o pequeña, 707-8
  importancia, 694-96
  informal, 698-99
  manejo del conflicto, 712-16
  necesidad de, 692-96
  opciones, 697-704
  orientación, 704-5
  personal directivo o de línea, 706-7
  posición, 705-8
  semiformal, 699-701
  sociedad, 716-24
Origen, fijo, 458-60
  flexible, 461

P

Partición del pedido, 543
Patrones de desempeño, en inteligencia artificial, 757
Pedido conjunto, en el control de revisión de inventario periodico, 361-63
Pérdidas
  reclamaciones por, 213-14
  selección del servicio de transporte, 169, 171
Perfiles, de envío, en la planeación de red, 632-33
  del pedido, en la planeación de red, 632
Personal directivo, tipo de organización, 706-7
Pertenencia, como función del sistema de almacenamiento, 473
Plan de cantidad de descuento-precio-incentivo
  incluido, 454-55
  no incluido, 456, 457
Planeación,
  de pedido del canal basado en la Web, 141-45
  de requerimientos de distribución (PRD), 443
    mecánica de la, 445-46
  de requerimientos de materiales (PRM), 433-41
    cantidad de liberación de pedido en, 441-42
    incertidumbre, de demanda en, 438-40
      de tiempo de espera, 440-41
  en logística y manejo de la cadena de suministros, 28-30, 33-61
  estratégica, 38-39
  logística y cadena de suministros, 38-53 (*Ver también* Logística y planeación de la cadena de suministros)
  operativa, 38, 39
  red, 618-90 (*Ver también* Proceso de planeación de red)
  táctica, 38, 39
Postergación, de la manufactura, 51
  de tiempo, 50-51
  del embalaje, 51
  del etiquetado, 51
  principio de, 50-52
PRD. *Véase* Planeación de requerimientos de distribución
Precios, reducidos, de transportación y, 166
Preferencia del cliente, efectos del servicio sobre la, 104-5
Preparación del pedido, 131-32
Presupuesto, en logística y control de la cadena de suministros, 736
Principio de apalancamiento, en las compras, 447-49
Prioridades del procesamiento del pedido, 101
Privilegios, de escala, cargos por, 206-9
  de tránsito, cargos por, 206-9
PRM. *Ver* Planeación de requerimientos de materiales
Problemas, de microlocalización, 595

de predicción, 310-14
arranque, 310
demanda irregular, 310-11
error de pronóstico, 311-14
pronóstico regional, 311
Procesamiento, de órdenes industriales, 137-38
de pedido, al menudeo, 138-39
del cliente, 139-41
del pedido, 12, 130-46
basado en la Web, 141-45
cliente, 139-41
consolidación del envío, 146
cumplimiento del pedido, 135-36
definición, 131-37
ejemplos, 137-45
exactitud del cumplimiento del pedido, 146
industrial, 137-38
informe del estado del pedido, 136-37
ingreso del pedido, 133-35
menudeo, 138-39
paralelo o secuencial, 146-47
preparación del pedido, 131-32
prioridades, 145
procesamiento por lotes, 146
sistema de manejo del almacén, 149
tamaño de lote, 146
transmisión del pedido, 132-33
por lotes, 146
artículo, 543
en la distribución de opción de pedidos, 490
pedido, 146
Proceso de planeación de red, 618-90
Análisis
diseño del canal, 662-68
herramientas para, 644-51
modelos para, 644-50
heurísticos, 646-47
optimización, 647-49
simulación, 645-46
sistemas expertos, 649-50
tabla, brújula y regla, 644-45
organización, 653-55
planeación integrada de la cadena de suministros, 668
realizar, 651-68
auditoría de niveles de servicio al cliente en, 652-53
configuración de red, 656-62
diseño del canal, 662-68
evaluación por comparación en, 655-56
planeación integrada del canal de suministros, 668
caso de estudio de ubicación en, 669-73
datos en, 621-44
codificación de, 624-28
conversión, a información, 628-43
agregado de ventas, 633-35
agrupación de producto, 628-29
capacidades de las instalaciones, 640
costos de instalación, 638, 640, 641
estimación de la, demanda futura, 643
tarifa de transporte, 629
estimados de kilometraje, 635-38, 639
perfiles de pedidos y envíos, 632-33
relaciones de inventario-rendimiento, 641-43
transporte, de contratación, 630-632
privado, 629-30, 631
unidades de análisis, 628
fuentes de, 622-24
lista de comprobación, 621-22
de producción, sistema de almacenamiento y, 472
de satisfacción total, 92-93
estudio de caso, 677-90
información faltante en, 643-44
problema de configuración en, 619-21
Producción, costos de, reducción de, almacenamiento, 470-71
y logística de operaciones y, 25-27
Producto(s), 62-90
agrupación, en la planeación de red, 628-29
características, 72-76
de riesgo de, 74-75, 76
en la auditoría de función total, 739
planeación y, 43
ciclo de vida de, 65-67
clasificación, 63-69
código de, en el proceso de planeación de red, 624
compra, 64
continuidad de producto, 541-42
curva 80-20 y, 68-71
de, compras, 64
consumo, 63-65
conveniencia, 63-64
especialidad, 64-65
de la logística y de la cadena de suministros, 62-90
disponibilidad de, como objetivo del manejo de inventarios, 336-37
distribución, en el diseño de almacén de, 528, 530-41
disposición del inventario en, 539-40

métodos de ubicación-localización del inventario en, 540-41
perfiles de actividad en, 537-38
suplemento técnico para, 549
ubicación del inventario en, 530-37
embalaje del, 76-77
fijación de precios del, 77-86 (*Ver también* Fijación de precios, producto)
índice, peso-masa, 72-73
valor-peso, 73-74
industrial, 65
naturaleza del, 63-67
retiro del mercado de, 123-26
sustituibilidad de, 74, 75
tarifas de transportación, 194-201
Programación,
de embarques, en el sistema de manejo de la transportación, 151
de suministros, 427-46 (*Ver también* Suministros, programación)
justo a tiempo (JAT), 428-42
del producto, 13
direccionamiento de vehículo y, 235-52 (*Ver también* Vehículo, direccionamiento y programación)
distribución justo a tiempo, 442-46
embarque, 249-52
KANBAN, 430-32
lineal, entera mixta, en la selección de ubicación de múltiples instalaciones, 564-69
guiada, en la selección de la ubicación de instalaciones, 578-81
planeación de requerimientos, 433-41 (*ver también* Materiales, planeación de requerimientos [MRP])
y diseño de rutas fluviales, 249-52
en el sistema de manejo de transportación, 151
Promedio monetario, en las compras, 452-53
Pronóstico(s), 286-325
casos de estudio, 323-25
de colaboración, 314-16
de demanda, derivada e independiente, 288, 290
espacial y temporal, 287, 88
irregular y demanda regular, 288, 289-90
flexibilidad y rápida respuesta como alternativa a, 316-17
métodos, 291-96
análisis, de ciclo de vida, 293
espectral, 293
analogía histórica, 292
basado en regla, 294
Box-Jenkins, 292
camino aleatorio, 295
causal, 296
consenso de panel, 292
cualitativo, 291
de colaboración, 294
Delphi, 292
descomposición de la serie de tiempo, 292
encuestas de intención de compra y anticipación, 293
estimados de la fuerza de ventas, 292
filtro adaptativo, 294
indicadores principales, 293
investigación de mercado, 292
modelo, de entrada y salida, 293
de regresión, 293
econométrico, 293
económico de entrada y salida, 293
nivelación o uniformidad exponencial, 292
promedio móvil, 292
pronóstico visionario, 292
pronósticos enfocados, 293
proyección histórica, 96, 291
proyecciones de tendencia, 293
redes neuronales, 294
respuesta precisa, 294
simulación dinámica, 294
naturaleza de, 287-91
problemas de predicción, 310-14 (*Ver también* Problemas de predicción)
regional, problemas de predicción, 311
técnicas para, para expertos en logística, 296-309
análisis de regresión múltiple como, 309
descomposición de series de tiempo clásica como, 305-8
nivelación o uniformidad exponencial, 297-305
Protección, de embarque, cargos por, 209

R

Reabastecimiento, instantáneo, 245-46, 345-56
no instantáneo, 347-48
tiempo intermedio, 346-47
Recepción, en el sistema de manejo del almacén, 148-49
Reclamaciones
de carga, 213-14

de sobrecargos por, 214
de transporte, 213-14
procesamiento de, en el sistema de manejo de transportación, 151
Recolección por distribución de zonas, 542
Reconocimiento, de embarque, cargos por, 205-6
de patrones, en inteligencia artificial, 755-56
Recuperación de inventario, en sistema de manejo de almacén, 149
Red de, flujo de producto, 42
información, 42
Reducción de capital, como objetivo estratégico, 36
Regla de la raíz cuadrada, 380-81
Relaciones de rendimiento de inventario, en la planeación de red, 641-43
Remolque sobre plataforma (TOFC), transportación, 176-77
Rendimiento(s),
decrecientes, en la relación ventas-servicio, 106
sobre, la inversión, en la medición del desempeño de la cadena de suministros, 57
los activos logísticos (ROLA), 28
Resguardo, en el sistema de manejo de almacén, 149
Respuesta rápida
como alternativa a los pronósticos, 316-17
en la logística y el manejo de la cadena de suministros, 19-20
en la logística y el sistema de control de la cadena de suministros, 734-36
Restricciones del pedido, 102
Retiro del mercado, de producto, 123-26
Retraso, reclamaciones por, 213-14
ROLA. *Ver* Rendimiento sobre los activos logísticos
Rutas, programación y diseño de, 249-52
tarifas de transportación, 204

S

SCM. *Ver* Administración de la cadena de suministros
Secuenciamiento
de producto, 541-42
en la distribución de la selección de pedidos, 488, 490
Seguimiento, del pedido, como servicio de almacén público, 483-84
en el sistema de manejo de la transportación, 151-52
Selección, de pedido, distribución del espacio para, 488-90
del equipo de, almacenamiento, en el manejo de materiales, 490
movimiento, en el manejo de materiales, 490-93
Servicio(s),
al cliente en la logística y la cadena de suministros, 91-129
como restricción, 117-18
contingencias en, 119-26
interrupciones del sistema, 119-23
retiro de producto, 123-26
costo *versus*, 109-10
definición, 92-98
efectos sobre
preferencia del cliente, 104-5
ventas, 102-4
elementos de, 93-98
importancia relativa de, 94-98
en la auditoría de función total, 739
estándares del, 12
expectativas, incremento de, 14-15
importancia de, 103-5
inventarios en la mejora del, 328-29
medición, 118-19
niveles de
auditoría, en la planeación de red, 652-53
óptimos, determinación, 110-14
objetivos del, en el diseño del sistema, 40
planeación y, 43
relación con las ventas, 105-9
definición, 105-7
modelado, 107-9
tiempo del ciclo de pedido y, 98-102
variabilidad en el, 114-17
función de pérdida en el, 114-16
de, entrega, cargos por, 210
recolección, cargos por, 210
transportación, de envíos pequeños, 179
en plataforma, 176-77
intermodales, 176-78
Simulación de canal en LOGWARE, 666-68
Sistema, de almacenamiento, 469-549
costos y tarifas, 493-96
en el proceso de producción, 472
en la coordinación de la oferta y la demanda, 471

en la reducción del costo de transportación-producción, 470-71
en marketing, 472
funciones, 472-79
almacenamiento, 472-77
manejo de materiales, 477-79
motivos para, 470-72
necesidad de, 470
Ver también Almacenes
Sistema de información, 146-61
al menudeo, 156-57, 158
de pedido, 148
Sistema de inventario para demanda, de control de inventario, 368
Sistema de manejo, del almacén (WMS), 148-50
del transporte (TMS), 150-53
consolidación de carga en, 151
direccionamiento, 151
pago de factura de carga y auditoría en, 152-53
procesamiento de reclamos en, 151
programación de envíos en, 151
rastreo de envíos en, 151-52
selección de modo, 151
Sistema de transportación, 164-218
agentes en, 178-79
características de costo de, 184-89 (*Ver también* Tarifa(s) de transportación)
cargos de servicio especial en, 205-11
competencia y, 165-66
controlado por la compañía, 190
documentación para, 212-15
economías de escala y, 166
efectivo, importancia de, 165-66
internacional, 180-84
agencias para, 183-84
planta física para, 181-83
servicios en, 183-84
opciones de servicio sencillo en, 171-76
fluvial, 174-75, 176
aéreo, 173-74, 176
de ductos, 175, 176
ferroviario, 171-72, 176
terrestre, 172-73, 176
privado, costeo de, 211-12
reducciones de precio y, 166
selección de servicios en, 167-71, 220-25
consideraciones competitivas, 222, 224
fijación de precio, 167-68
intercambios de costo básico, 220-22, 223
métodos de selección para, valuación, 224-25
pérdida y daño, 169, 171
tiempo de tránsito y variabilidad, 168-69, 170
servicios, de envío pequeños en, 179
intermodales en, 176-78
Sistema de zonas modificado, como distribución para levantamiento de pedidos, 488, 489
Sistema logístico de información (LIS), 146-61
como sistema de apoyo para la toma de decisiones, 160-61
entrada, 154-55
función, 146-53
información, de órdenes, 148
general, 147
manejo, de almacén, 148-50
de base de datos, 155-56
del transporte, 150-53 (*Ver también* Transporte, sistema de manejo del transporte)
minorista, 156-57, 158
operación interna, 153-56
para, comercio electrónico, 159-60
inventario manejado por el vendedor, 157-59
salida, 156
sistemas, 730-33
de apoyo para la toma de decisiones, 737-38
detalles, 733-36
lazo, abierto, 730, 731
cerrado, 730-33
modificado, 733
respuesta, 734-36
tolerancia de error, 734
Sistema mín-máx, de control de inventario, 363-68
Sistemas, de control de lazo cerrado, 730-33
de posicionamiento global, en el rastreo de envíos, 152
Subcontratación, 716-17
logística y manejo de la cadena de suministros, 16-17
toma de decisiones sobre, 718-19
Suministro
control de inventario dirigido por, 384-85
coordinación de la demanda con, almacenamiento en, 471
Superorganización, 710-12
Sustitución de información, 116-17
Sustituibilidad, de productos, 74, 75

T

Tabla gráfica de desempeño, 748-50
Tabla, brújula y regla, técnicas de, en el proceso de planeación de red, 644-45
Tamaño de lote, 146

Tarifa(s) de, transportación
comunes, 185-86
conjunta, 185-86
contra todo riesgo, 191, 192
estimación de, en la planeación de red, 629
fija, 185
intercambios básicos, 220-22, 223
relacionadas con la, demanda, 192-93
distancia,190-92
transporte,
ajustadas, ubicación de instalaciones y, 554-55
de, carga, de todo tipo, 201
marítima, 205
clase, 195-200
contrato, 200-201
cubo, 204
importación/exportación, 204
incentivo, 202-4
línea, 185, 193-205
valor liberado, 205
diferido, 205
en forma piramidal, 191, 192
para, desviación, 205-6
interlineado, 209
privilegios de tránsito, 206-9
protección, 209
reenvío, 205-6
servicios especiales, 205-9
servicios terminales, 210-11
perfiles de, 190-93
por, modo, 187-89
producto, 194-201
ruta, 204
tamaño de envío, 201-4
proporcional, 191, 192
relacionado con el volumen, 109
uniforme, 190, 191
variable, 185
Tarifas de, clase, para transportación, 195-200
exportación, para transportación, 204
importación, para transportación, 204
por volumen, para transportación, 204
para sistemas de almacenamiento, 493-96
transportación, contra todo riesgo, 191, 192
de carga marítima, 205
de valor liberado, 205
diferidas, 205
en forma piramidal, 191, 192
por contrato, 200-201
proporcional, 191, 192
relacionadas con, el volumen, 190
la demanda, 192-93
la distancia, 190-92
uniformes, 190, 191
Tiempo,
de ensamblado del pedido, 98-99
de entrega, 100
de procesamiento del pedido, 98-99
factores que afectan el, 145-46
de producción, 100
de tránsito y variabilidad, selección del servicio de transportación y, 168-69, 170
de transmisión del pedido, 98
del ciclo del pedido, 98-102
ajustes, 101-2
disponibilidad de inventario en, 99-100
tiempo de, ensamblado, 98-99
entrega, 100
procesamiento, 98-99
producción, 100
transmisión, 98
intermedio
incierto
control de inventario de punto de reorden, 355-57
en la planeación de requerimientos de materiales, 440-41
para reabastecimiento, 346-47
Tipo de organización de línea, 706-7
TMS. *Ver* Sistema de manejo del transporte
TOFC. *Ver* Remolque sobre plataforma
Tolerancia de error, en el sistema de control de la logística y la cadena de suministros, 734
Tránsito, almacenamiento en, 485-86
Transmisión del pedido, 132-33
Transportación, 12
aérea, 173-74, 176
características de costos, 188-89
controlada por la compañía, 180
costos de, reducción de, almacenamiento en, 470-71
de propiedad privada, en la planeación de red, 629-30, 631
decisiones sobre, 219-85 (*Ver también* Decisiones de transporte)
en diseño de sistema, 41
en ductos, 175, 176
características de costos de, 189
ferroviaria, 171-72, 176
características de costos de, 187
fluvial, 174-75, 176
características de costos de, 188

internacional, 180-81
internacional, 180-84
agencias, 183-84
documentación, 214-15
planta física, 181-83
servicios, 183-84
para renta, en la planeación de red, 630-32
por camiones, 172-73, 176
características de costo de, 188
por carretera, 172-73, 176
características de costos, 188
Transporte por contenedores, 177-78

U

Ubicación, dinámica de almacén, 582-86
instalaciones. *Ver* Instalaciones, ubicación de
Umbral, en la relación ventas-servicio, 106
Unidades de análisis, en la planeación de red, 628
Unificación de carga, 486-87
Uso de contenedores, 487

V

Valor, logística y, 13, 18-19
Variabilidad en tiempo, tránsito, selección de servicio de transportación y, 168-68, 170
Venta(s)
agregado de, en planeación de red, 633-35
efectos del servicio sobre, 102-4
relación con el servicio, 105-9
definición, 105-7
modelación, 107-9
términos de, 461
Ventaja comparativa, principio de, 3
VMI. *Ver* Inventario manejado por el vendedor

W

WMS. *Ver* Sistema de manejo del almacén

Z

Zonas de comercio exterior, 181-83